



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

LISY S PŘÍMÝM POHONEM SOUČASNÉ PRODUKCE

PRESSES WITH DIRECT DRIVE OF CURRENT PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Bajdich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Matej Bajdich**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Omes, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Lisy s přímým pohonem současné produkce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lisy s přímým pohonem mají v současnosti široké uplatnění v oblastech plošného a objemového tváření. Jejich variabilita a regulovatelnost je využitelná pro různé tvary výrobků.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši lisů s přímým pohonem.
Představit technologii pohonu Direct drive.
Porovnání přímého a nepřímého pohonu u mechanických lisů.
Popsat algoritmus výpočtu pohonů mechanických lisů.

Seznam doporučené literatury:

ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů, Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje I. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1037-X.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje II. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1038-8.

NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Brno: VUT FSI v Brně, 2002.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

RUDOLF, Bedřich. Výrobní stroje a zařízení II. Praha: ČVUT Praha, 1990.

DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972

ŠTRBA, Marián a Jiří JANOUŠ. Tvářecí stroje – Všeobecné technické požadavky: československá státní norma ČSN 21 0001: schválena listopad 1996. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce je analyzovať problematiku mechanických lisov s priamym pohonom, ich porovnanie s mechanickými lismi poháňanými nepriamym pohonom a predstavenie lisov s priamym pohonom súčasnej produkcie na trhu. V prvej časti bakalárska práca nahliadne na základné informácie o mechanických lisoch, rozdelenia mechanických lisov a priblíži súčasný stav vybraných mechanických lisov s priamym pohonom na trhu. V druhej časti sa podľa zadaných parametrov práca venuje výpočtu a návrhu priameho a nepriameho pohonu. Pri návrhu priameho pohonu je vytvorený 3D model pohonu. K časti 3D modelu, konzoly na uchytenie servomotora k telesu lisu, sú priložené výrobné výkresy. Posledná časť práce sa venuje porovnaniu výsledkov z druhej časti práce, zhodnoteniu rozdielov priameho a nepriameho pohonu mechanických lisov vyplývajúcich z prvej časti práce. V neposlednom rade pohľadu autora pri porovnaní pohonov a predstave nasledujúceho vývinu technológie priameho pohonu pri použití v mechanických lisoch.

ABSTRACT

The aim of this work is to analyze to the issues of mechanical presses with direct drive, their comparison with mechanical presses driven with indirect drive and introduction of presses with direct of current production on the market. In the first part of bechelor's thesis, it looks at the basic information about mechanical presses, the division of mechanical presses and describes the current state of selected mechanical presses on the market. In the second part, the works deals with the calculation and design of direct and indirect drive according to given parameters. 3D model of drive is created from the design of direct drive. To the part of the 3D model, the brackets for attaching the servomotor to the press body, production drawings are attached. The last part of the thesis deals with the comparison of results from the second part of the thesis, the evaluation of the diferences between the direct and indirect drive of the mechanical presses resulting from the first part of thesis. Last but not least the author's view when comparing the drives and the idea of the next development of the direct drive technology in mechanical presses.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

priamy pohon, Torque motor, servomotor, servo pohon, servo lis, mechanický lis, kľukový mechanizmus, planetová prevodovka

KEYWORDS

direct drive, Torque motor, servomotor, servo drive, servo press, mechanical press, crank mechanism, planetary gearbox

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BAJDICH, M. *Lisy s přímým pohonem současné produkce*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 59 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Omes, Ph. D.

POĎAKOVANIE

Pod'akovanie patrí vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D. za pomoc, odborné vedenie, vecné pripomienky a ústretovosť v priebehu spracovávania práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jiřího Omese, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24.05.2019

.....

Bajdich Matej

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MECHANICKÉ LISY	17
2.1	HLAVNÉ PARAMETRE MECHANICKÝCH LISOV	17
2.2	ROZDELENIE MECHANICKÝCH LISOV	18
2.2.1	Podľa použitého mechanizmu pre prenos sily	18
2.2.2	Podľa počtu využiteľných mechanizmov	19
2.2.3	Podľa veľkosti menovitej sily.....	19
2.2.4	Podľa tvaru stojana	19
2.2.5	Podľa pracovného určenia	19
3	POHONY MECHANICKÝCH LISOV	19
3.1	Pohon mechanického lisu tvoria	20
3.2	PODĽA CHARAKTERU RIEŠENÍ JE MOŽNÉ POHONY ROZDELIŤ NA	20
3.3	Priamy pohon	20
3.3.1	Motory pre priamy pohon	21
3.3.2	Napojenie priameho pohonu na mechanizmus lisu	22
3.4	Nepriamy pohon	24
3.5	Porovnanie priameho a nepriameho pohonu	24
3.6	Zhodnotenie pohonov lisov	25
4	KĽUKOVÉ MECHANICKÉ LISY	25
4.1	KINEMATIKA KĽUKOVÉHO MECHANIZMU	26
4.2	KĽUKOVÉ UZAVRENÉ JEDNOBODOVÉ MECHANICKÉ LISY.....	27
4.3	KĽUKOVÉ UZATVORENÉ DVOJBODOVÉ A ŠTVORBODOVÉ MECHANICKÉ LISY	28
4.4	Kľukové lisy s priamym pohonom súčasnej produkcie.....	29
4.4.1	Dvoj-stojanový servo lis DSF-M2 od firmy Aida	29
4.4.2	Lisy H2FM so servo pohonom od firmy Komatsu	30
4.4.3	Lisovacie linky so servo pohonom Schuler ServoLine	32
4.4.4	Pokročilé servo lisy Shuler s TwinServo technológiou.....	34
4.4.5	Lisy so servo pohonom série MX a SX od firmy SIMPAC	36
4.4.6	Porovnanie kľukových lisov s priamym pohonom súčasnej produkcie	39
5	VÝPOČET ZÁKLADNÝCH PARAMETROV KĽUKOVÉHO MECHANIZMU	40
5.1	Zadané technické parametre	40
5.2	Sily a momenty na kľukovom ústrojenstve bez trenia.....	40
5.3	Sily a momenty na kľukovom ústrojenstve s uvažovaním trenia	42
6	NÁVRH POHONU LISU	43
6.1	Zadané technické parametre	43
6.2	Návrh priameho pohonu kľukového lisu	43
6.3	Návrh nepriameho pohonu kľukového lisu	46
6.3.1	Rozbor pracovných režimov lisu	46
6.3.2	Určenie práce kľukového mechanizmu lisu	47
6.3.3	Stanovenie veľkosti zotrvačníka.....	48
6.3.4	Časové konštanty	49
6.3.5	Voľba elektromotora.....	50
6.4	Zhodnotenie výsledkov výpočtu	50

7	ZÁVER.....	53
8	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	55
9	ZOZNAM PRÍLOH	57

1 ÚVOD

Témou bakalárskej práce sú lisy s priamym pohonom súčasnej produkcie, konkrétne poháňané prostredníctvom kľukového mechanizmu. Jedná sa o veľmi aktuálnu tému, pretože v súčasnosti čoraz viac spoločností nahrádza lisy s nepriamym pohonom lismi s pohonom priamym, so zámerom zvýšenia flexibility lisovania.

Lisy s týmto typom pohonu sú v rôznych variantách a modifikáciách využívané už dlhé roky, ale neustále sa rozvíjajú. Veľkosť lisov sa znižuje a flexibilita, univerzálnosť a lisovacia sila sa zvyšuje.

Všetko je to možné vďaka neustálymu vývoju momentových motorov, nakoľko sa používajú takmer vo všetkých typoch obrábacích a tvarovacích strojoch. Ich najväčšou výhodou je presné ovládanie. Inováciou momentových motorov sa zvyšuje krútiaci moment a znižuje hmotnosť.

Cieľom bakalárskej práce je popísať princíp fungovania priameho pohonu lisu, predstaviť aktuálne lisy s priamym pohonom na trhu a porovnať priamy pohon s nepriamym pohonom. V prvej časti sú rozoberané základné informácie o mechanických lisoch, ich rozdelenie a prehľad aktuálne ponúkaných lisov s priamym pohonom. Druhá časť rieši výpočet a návrh priameho a nepriameho pohonu. V poslednej časti práca rieši vyhodnotenie a porovnanie získaných informácií a výsledkov získaných v práci.

Bakalárska práca si stanovuje za cieľ oboznámenie čitateľa s lismi poháňanými priamym pohonom súčasnej produkcie. Čitateľovi pomôže zistiť ako funguje mechanický lis s kľukovým mechanizmom poháňaný priamym pohonom, aké sú možnosti priameho pohonu, aký je rozdiel medzi priamym a nepriamym pohonom a akým smerom sa predpokladá vývoj priameho pohonu.

2 MECHANICKÉ LISY

Mechanické lisy sú najrozšírenejšie tvárniace stroje. Pracujú s priamočiarym vratným pohybom činného člena. Vo výrobe sa používajú na najrozličnejšie tvárniace technologické operácie. (1)

Najpoužívanejším výkonným mechanizmom týchto lisov je kľukový mechanizmus. Kľukov môže byť rameno pracovného hriadeľa alebo výstredník. Iné výkonné mechanizmy môžu byť: vačka, ozubený hrebeň, trecie kotúče a pod.

Úlohou kľukového mechanizmu lisu je premieňať otáčavý pohyb na priamočiary posuvný pohyb šmýkadla. Krútiaci moment, ktorý sa získava na hriadeľi, sa odovzdáva šmýkadlu, pomocou ktorého sa vykonáva deformačná práca technologickej operácii. (2)

Mechanické lisy sú charakteristické tým, že sila, ktorá je na šmýkadle lisu k dispozícii, je závislá od jeho zdvihu. Konštruujú sa tak, že môžu byť zaťažené obmedzujúcou tvárniacou silou v určitej vzdialenosti (menovitom zdvihu) pred dolnou úvratou. Táto vzdialenosť je pre rôzne lisy rôzna a udáva sa buď priamo v mm, alebo v stupňoch pootočenia kľuky pred dolnou úvratou. U výstredníkových lisov do menovitej sily 160 MPa môže byť napr. tejto sily dosiahnuté 30° pred dolnou úvratou, u výstredníkových lisov nad 160 MPa len 20° pred dolnou úvratou. U kľukových lisov je tento uhol v širšom rozmedzí. U hlbokotážnych kľukových lisov dosahuje až 90°, u ostrihávacích býva iba 15°. Kľukový hriadeľ lisu môže preniesť určitý najvyšší točivý moment. Ďalším obmedzením z hľadiska pevnosti rámu, stojana lisu, je dosiahnutie menovitej sily na šmýkadle. Tieto dve podmienky potom určujú priebeh sily na zdvihu, ktorou je dovolené a možné šmýkadlo lisu zaťažiť. Pri voľbe lisu je nutné porovnať tvárniace charakteristiky očakávaných technologických operácií pri výrobe určeného spektra súčiastok s priebehom závislosti dovolenej zaťažujúcej sily na šmýkadle. Tak sa kontroluje vhodnosť voleného mechanického lisu. (1)

2.1 HLAVNÉ PARAMETRE MECHANICKÝCH LISOV (2)

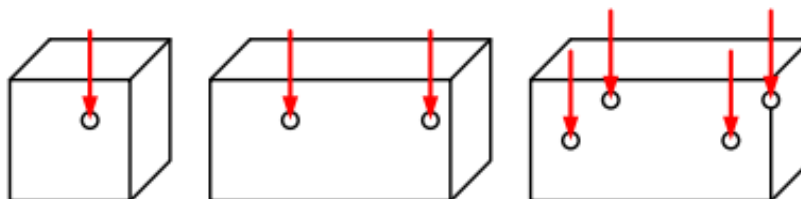
- Menovitá sila F_m [MN] je najväčšia dovolená sila, ktorou sa môže lis zaťažiť.
- Menovitý pracovný zdvih h_p [mm] je vzdialenosť šmýkadla pred DÚ, v ktorej sa môže dosiahnuť menovitá sila.
- Celkový zdvih šmýkadla.
- Menovitý počet zdvihov šmýkadla n_m [min⁻¹] je počet prebehov šmýkadla medzi jeho úvratmi za minútu pri neprerušovanom chode naprázdno.
- Využitelný počet zdvihov šmýkadla n_s je najväčší dovolený počet jednotlivo sa opakujúcich zdvihov za minútu.
- Uzavretá výška e [mm] je najväčšia vzdialenosť medzi stolom lisu a šmýkadlom v jeho dolnej polohe.
- Rozmery upínacej plochy stola a šmýkadla [mm].
- Veľkosť prestavovania šmýkadla a stola [mm] je vzdialenosť, o ktorú možno zmeniť uzavretú výšku.
- Vyloženie A [mm] je kolmá vzdialenosť osi šmýkadla od čelnej plochy stojana v pracovnom priestore pri otvorených stojanoch.
- Práceschopnosť lisu pri trvalom (neprerušovanom) chode A_n .

- Výkon elektromotora P_e [kW].
- Celková hmotnosť lisu [kg] je približná hmotnosť úplného lisu.

2.2 ROZDELENIE MECHANICKÝCH LISOV

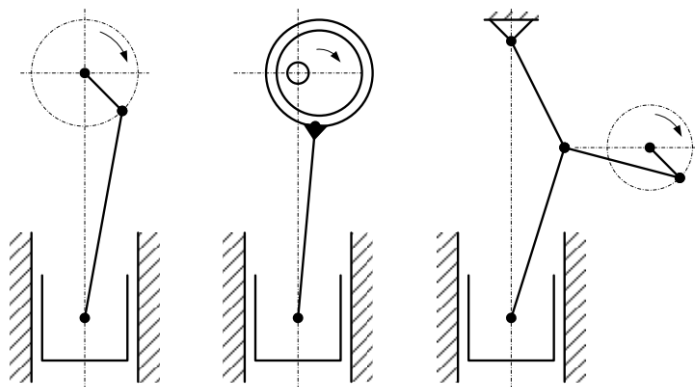
2.2.1 Podľa použitého mechanizmu pre prenos sily (obr. 2.2) (3)

- Kľukové lisy (obr. 2.1)
 - jednobodové
 - viacbodové (dvojbodové, štvorbodové)



Obr. 2.1 Schematické znázornenie šmýkadiel lisu (zľava: jednobodový, dvojbodový a štvorbodový) (3)

- Výstredníkové lisy
 - s pozdĺžnym usporiadaním výstredníkového hriadeľa
 - s priečnym usporiadaním výstredníkového hriadeľa
- Kolenový lis



Obr. 2.2 Schématické znázornenie mechanizmov na prenos sily (zľava: kľukový lis, výstredníkový lis, kolenový lis) (3)

2.2.2 Podľa počtu využitelných mechanizmov (3)

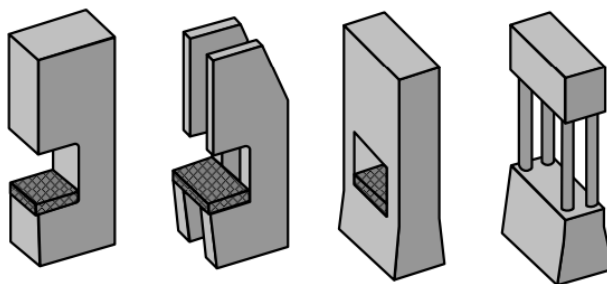
- Jednočinné
- Dvojčinné

2.2.3 Podľa veľkosti menovitej sily (3)

- Lhké (do menovitej sily 0,5 MN)
- Stredné (menovitá sila od 0,5 do cca 5 MN)
- Ťažké (menovitá sila väčšia než cca 5 MN)

2.2.4 Podľa tvaru stojana (obr.2.3) (3)

- Jedno-stojanové otvorené („C“ stojan)
- Dvoj-stojanové otvorené („CC“ stojan)
- Dvoj-stojanové uzatvorené („O“ stojan)
- Stĺpové konštrukcie
- Ostatné



Obr. 2.3 Schématické znázornenie tvaru stojana (zľava: jedno-stojanový otvorený, dvoj-stojanový otvorený, dvoj-stojanový uzatvorený, stĺpový) (3)

2.2.5 Podľa pracovného určenia (3)

- Univerzálne
- Špeciálne (konštruované pre jedinú technologickú operáciu)
- Jednouúčelové (konštruované pre rovnaké technologické operácie a rovnaké výrobky).

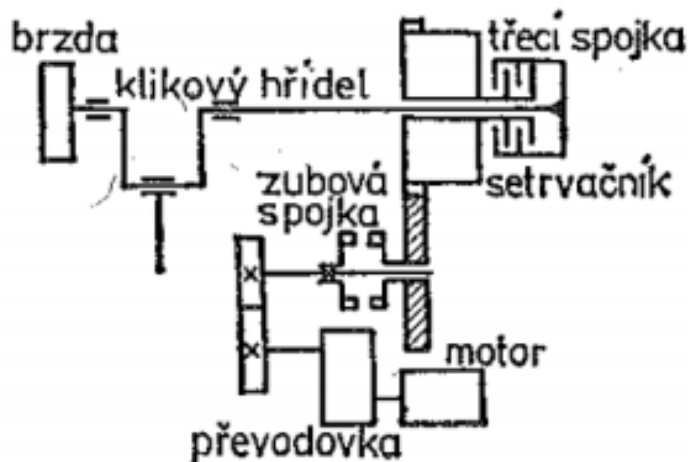
3 POHONY MECHANICKÝCH LISOV

Všetky tvárniace stroje využívajú k svojej práci systémy, ktoré sú schopné:

- **akumulovať energiu a v požadovanom okamihu ju vhodne uvoľniť** za účelom prevedenia požadovanej technologickej operácie a správne ju premeniť na prácu plastických deformácií tvárneného kusu. Toto je v praxi realizované pomocou rôznych druhov akumulátorov energie.
- **znásobiť vhodným mechanizmom silu pohonu** tak, aby jej charakteristika v každom okamihu kopírovala s čo najmenším prebytkom a s čo najväčšou presnosťou priebeh tvárniacej sily potrebnej k vykonaniu technologickej operácie. Čím väčšia odchýlka tvárniacej sily a sily vyvodenej pohonným mechanizmom behom procesu tvárnenia, tým sú väčšie energetické straty.

3.1 Pohon mechanického lisu tvoria (obr.3.1) (1)

- motor,
- prevodový systém ozubených kolies so spojkami, brzdou a zotrvačníkom,
- výkonný mechanizmus s priamočiarym vratným pohybom.



Obr. 3.1 Kinematická schéma mechanického křukového lisu (1)

Je teoreticky a prakticky dokázané, že čím rýchlejšie na tvárniacom stroji tvárnime, tým je väčšia energetická náročnosť pre vytvorenie rovnakého výrobku. Toto súvisí s mechanikou procesu, menovite s dynamickými účinkami, ktoré vznikajú pri tvárnení. (4)

U mechanických lisov (kľukový a vretenový) je typický pohon s akumuláciou energie (zotrvačník), pretože odber energie je obvykle výrazne špičkový. Špičkový odber energie znamená vysoko výkonný elektromotor pohonu a problematickú akumuláciu energie. (3)

3.2 PODĽA CHARAKTERU RIEŠENÍ JE MOŽNÉ POHONY ROZDELIŤ NA (4):

- Priame pohony
- Nepriame pohony (pohony s akumuláciou energie)

3.3 Priamy pohon

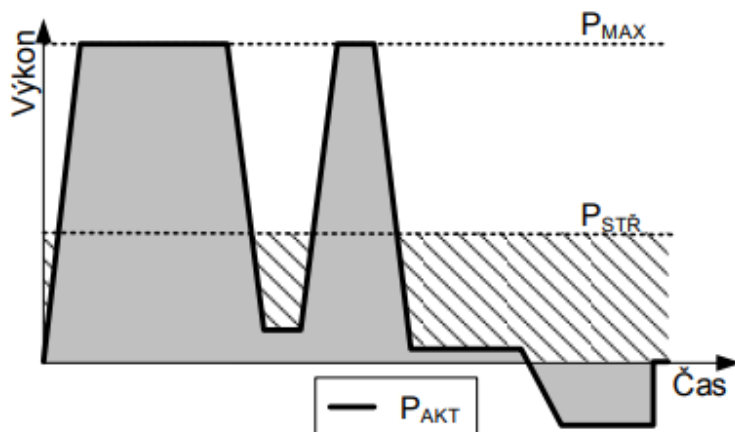
Priamy pohon u mechanických lisov prináša nové možnosti. Medzi hlavné výhody priameho pohonu patria možnosť rozšírenia technologického využitia strojov. Konkrétne sa jedná o aplikáciu presného riadenia rýchlosti výstupných členov.

Naopak medzi nevýhody patria podstatne drahšie a niekoľkonásobne ťažšie motory, ktoré musia pre rovnakú technológiu disponovať niekoľko násobne vyšším výkonom (alebo aspoň točivým momentom). Cena motorov je vyššia aj z dôvodu inej konštrukcie (jedná sa o synchronne mnoho pólové motory oproti bežným asynchronným).

Priamy pohon je preto možné chápať len ako rozšírenie možností tvárniacich strojov a nie ako náhradu existujúcich akumulátorových pohonov. V súčasnom stave vývoja pohonných motorov je možné konštatovať, že priamy pohon je možné použiť iba v obmedzených prípadoch, predovšetkým potom pre malé tvárniace jednotky.

Priamy pohon mechanických lisov je naviazaný na vývoj v oblasti špeciálnych momentových motorov a výkonovej riadiacej elektroniky. Špeciálne momentové pomalobežné elektromotory (obvykle nazývané TORQUE MOTORY).

Pre potreby pohonu mechanických lisov je za „priamy pohon“ akceptovaná aj varianta s vloženým prevodovým pomerom, pretože požadované otáčky výstupného člena sú príliš nízke v porovnaní so schopnosťami motorov. (3)



Obr. 3.2 Pribeh spotreby energie (P_{AKT} – pribeh aktuálnej výkonovej spotreby, P_{MAX} – špičkový výkon motora priameho pohonu, $P_{STŘ}$ – výkon motora akumulátorového pohonu) (3)

Na obrázku 3.2 je zobrazený príklad priebehu aktuálnej výkonovej spotreby stroja P_{AKT} pre prevedenie technologickej operácie. V prípade využitia akumulátorového pohonu musí byť zdroj energie pre dobíjanie akumulátora minimálne rovný priemeru aktuálnej energetickej spotreby (väčšinou sa počíta s + 20 % rezervou). Taký výkon reprezentuje priamka $P_{STŘ}$. Pre prípad priameho pohonu musí byť motor schopný dodávať energiu o väčšom než maximálnom, špičkovom výkone P_{MAX} . Pretože by dodávka extrémnych výkonov bola spojená s extrémnymi motormi, fungujú priame pohony tak, že pre vyvodenie extrémneho točivého momentu (alebo finálnej výstupnej sily) pripúšťajú zníženie rýchlosti otáčania. Vzťah medzi rýchlosťou, silou a výkonom platí a je popísaný nasledujúcim jednoduchým vzťahom:

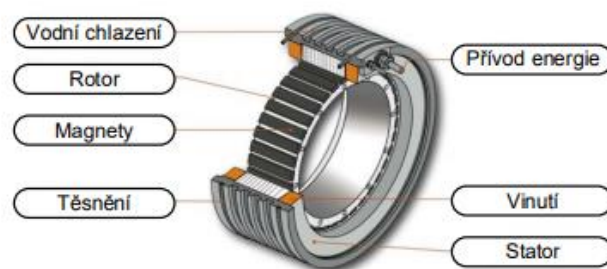
$$P = F \cdot v = M \cdot \omega$$

U pohonu mechanických lisov môžeme predpokladať, že extrémny točivý moment bude nutné vyvodit' len v minimálnych častiach pracovného zdvihu. (3)

3.3.1 Motory pre priamy pohon

Pre potreby priameho pohonu boli vyvinuté špeciálne motory, tzv. TORQUE motory.

Torque motory sú zvláštna trieda bezkefových striedavých servomotorov s permanentnými magnetmi bežne označované ako servomotory s permanentnými magnetmi, alebo bezkefové DC motory. Vzhľadom k tomu, že užitočné zaťaženie je priamo spojené s rotorom motoru bez použitia prenosového prvku, sú Torque motory klasifikované ako vhodné pre priame pohony. (3)



Obr. 3.3 Příklad Torque motora (3)

Rovnako ako u lineárnych motorov, Torque motory sú typom „bezrámového“ motora. To znamená, že motor nezahŕňa skriňu, ložiská, spätno-väzobné zariadenie. Tieto komponenty môžu byť staviteľom stroja zvolené a optimalizované pre požadované výkony, alebo zakúpené ako súčasť zostavy.

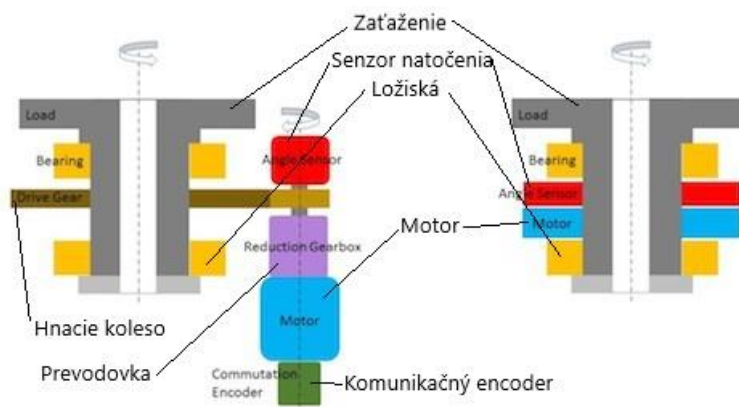
Torque motory produkujú vysoký točivý moment pri striedaní rýchlosti, alebo keď je motor v kľude, alebo pozastavený. Na rozdiel od tradičnej jednotky, je veľkosť Torque motora závislá iba na momente a nie na výkone.

Servopohon je pohon s elektronickou reguláciou polohy, rýchlosti alebo momentu s vysokými až veľmi vysokými požiadavkami na dynamiku, nastaviteľný rozsah a/alebo presnosť pohybu. (3)

3.3.2 Napojenie priameho pohonu na mechanizmus lisu

Servolisy sú mechanické lisy, kde je pohyb šmykadla docielený pomocou špeciálneho jednosmerného alebo striedavého elektromotora, riadeného pulznou reguláciou. Tento motor je priamo spojený s kľukou. Udáva sa, že pri 120 ot/min musí byť zdvih uskutočnený počas pol sekundy. Prakticky to znamená urýchliť šmykadlo na pretvárnu rýchlosť, transportný zdvih a opäť zabrzdiť. Aby bolo toto možné, je dynamika zariadenia podstatným faktorom. To je zaistené priamym pohonom. Prevodové stupne môžu umožniť požadovaný motorový moment, čo však redukuje dynamiku. (5)

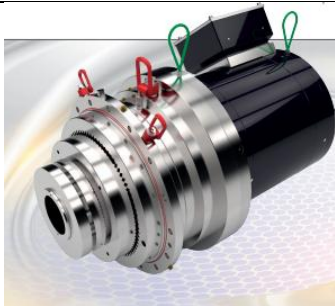


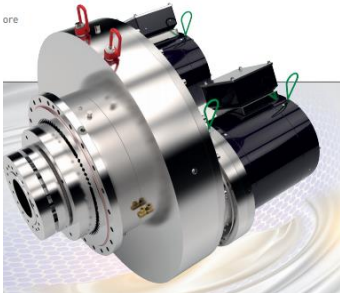
Priame pohony využívajú svoj typ konštrukcie, ktorý umožňuje pripojenie motora priamo k poháňanému zaťaženiu a prenosové prvky sú tak zbytočné. Konvenčné pohony naopak vyžadujú ozubené prevody, spojky, remene a remenice alebo reťazové prevody, ktoré si vyžadujú zvýšenú údržbu a spôsobujú zhoršenie zrýchlenia zaťaženia, zvýšenie spotreby energie, zvýšenie zotrvačnosti systému, či zníženie presnosti. (obr. 3.4) (6)



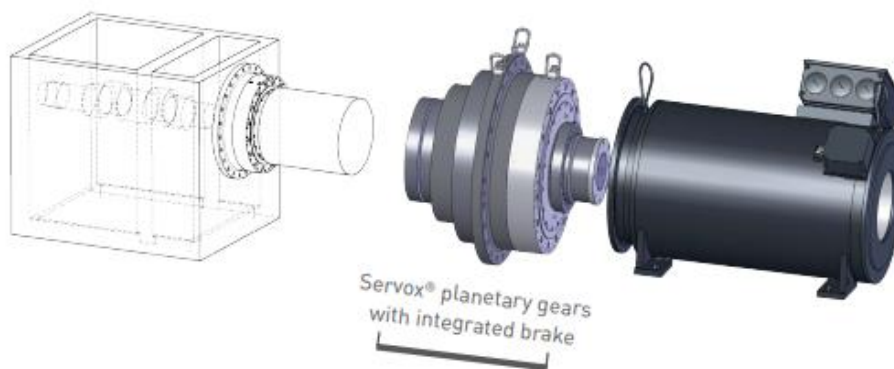
Obr. 3.4 Tradičné usporiadanie pohonu (vľavo), usporiadanie priameho pohonu (vpravo) (6)

Ďalšou možnosťou napojenia priameho pohonu na mechanizmus lisu je cez planetovú prevodovku. Pomocou mechatronických planetových prevodoviek v pohone lisu je možné nastaviť aspoň dve rozdielne rýchlosti pohybu šmýkadla. Spoločnosť Desch Antriebstechnik ponúka prestaviteľný pohonný systém s mechatronickou reguláciou KAS 500 pre lisy s menovitou silou až 22 500 kN. Firma Müller Stanz – und Umformtechnik vyrába lisy s pohonom MLE (Mechanical Leaded Excentric), kde je možné znížiť rýchlosť pohybu šmýkadla pred dolnou úvraťou až na 36 %, pri zvýšení zdvihu až o 80 %. (5)

Planetové prevodovky Servox® od firmy Desch Antriebstechnik s integrovanou hydraulickou brzdou, ktorá ponúka štyri modelové rady. (7)

Servox® E pre malé a stredné lisy.		<ul style="list-style-type: none"> - Krútiaci moment 10 ÷ 250 kNm - Prevodový pomer 4 ÷ 6
Servox® SP pre veľké sily alebo rýchle servo – motory.		<ul style="list-style-type: none"> - Krútiaci moment 10 ÷ 150 kNm - Prevodový pomer 12 ÷ 20
Servox® Z pre veľké sily alebo rýchle servo – motory. Dvojstupňový pohon pre ešte vyššie pomery.		<ul style="list-style-type: none"> - Krútiaci moment 40 ÷ 2000 kNm - Prevodový pomer 4 ÷ 48
Servox® DS pre vysoké krútiace momenty		<ul style="list-style-type: none"> - Krútiaci moment 25 ÷ 2000 kNm a viac - Prevodový pomer 4 ÷ 48

Tabuľka 1 Planetové prevodovky od firmy Desch (7)



Obr. 3.5 Planetová prevodovka Servox® E od firmy Desch (7)

Pripojenie kľukového hriadeľa alebo hriadeľa pastorku na Torque motor je možné realizovať podľa konštrukcie motora cez spojku, ktorá spojí hriadeľ motora a hriadeľ pohonu s evolventným drážkovaním alebo drážkou/drážkami s tesným perom. Ďalšou možnosťou spojenia Torque motora a pohonu je cez prírubu. Prírubu sa vystredí vďaka osadeniu a uloženiu s veľmi malou vôľou, s dutým hriadeľom motora. Spojenie príruby s dutým hriadeľom je realizované pomocou skrutiek a spojenie príruby s hriadeľom pohonu je realizované pomocou evolventného drážkovania v prírube a na hriadeľi, ktoré prenáša spoločne so skrutkovým spojom krútiaci moment.

3.4 Nepriamy pohon

Zotrvačník je zaradený medzi poháňací elektromotor a kľukový hriadeľ lisu a slúži k nahromadeniu energie po celú dobu, kedy lis nepracuje a nie je zaťažovaný. Energia sa odoberá na tvárniacu prácu počas pracovnej časti zdvihu šmýkadla, pri otočení kľukového hriadeľa o uhol α_j . (8)

3.5 Porovnanie priameho a nepriameho pohonu

Pri lisovaní je podstatná maximalizácia energie alebo schopnosť dodávania lisovacej sily vtedy, keď je to najviac potrebné, a teda medzi šmýkadlom a obrobkom. Donedávna bol jediný spôsob, ako zvýšiť lisovaciu silu na mechanickom lise len cez väčšie lisy s väčšími motormi a zotrvačníkmi.

Tento trend podnietil novú vlnu návrhov mechanických lisov, kde sa odstránil hlavný motor, zotrvačník a spojka. Všetko nahradil servomotor, ktorý sústredí energiu iba tam, kde je to potrebné a spôsobil to, že zdvih šmýkadla je ovládateľný.

Mechanické lisy so zotrvačníkom a spojkou ešte nejaký čas ostanú na trhu, ale lisy so servo-pohonom nezostanú navždy len nástrojom pre špecifickú skupinu užívateľov. Čoraz viac spoločností nahrádza lisy s nepriamym pohonom za lisy s priamym pohonom s cieľom zvýšiť flexibilitu lisovania.

Vďaka možnosti poháňania lisu servo-pohonom, sa začala naskytovať otázka „čo keby sme mohli ovládať pohyb šmýkadla počas zdvihu a zostať po určitú dobu v dolnej úvrati?“, čo viedlo k novým spôsobom myslenia o formovaní kovu. Vďaka servo-pohonu je vždy možné vedieť aká je pozícia šmýkadla na niekoľko mikrónov, čo otvára veľa nových možností. Táto vlastnosť zastavenia šmýkadla v dolnej úvrati, či v nejakom bode nad ňou rovnako umožňuje

aplikovanie ďalších operácií, nakoľko šmýkadlo môže pôsobiť ako upínacie zariadenie na udržanie výlisku v stabilnej polohe.

Pohyb lisu sa môže pre vysvetlenie zredukovať na rovnicu, že energia vychádza z násobku hmotnosti a rýchlosti, alebo z násobku momentu zotrvačnosti a úhlovej rýchlosti. Čím rýchlejšie sa zdroj (zotrvačník alebo servomotor) otáča, tým viac energie má. Zotrvačnickový lis má ale nižšiu efektivitu, pretože energia musí byť privádzaná zo zotrvačníka cez spojku na mechanizmus, ktorý poháňa šmýkadlo, ktoré poskytuje maximálnu zaťažovaciu silu v určitom bode nad dolnou úvraťou. Hlavný poháňací motor potom musí dostať zotrvačník späť do počiatočnej rýchlosti predtým, ako sa šmýkadlo znova dostane do kontaktu s materiálom. Z tohto dôvodu mechanické lisy so zotrvačníkom nie sú schopné pracovať pri nízkych rýchlostiach, pretože rýchlosť otáčania zotrvačníka nebude schopná poskytnúť dostatok energie na vytvorenie potrebnej sily pre vyrezanie alebo tvarovanie materiálu. Pokiaľ ale nahradíme zotrvačník a spojku servomotorom, môžeme dosiahnuť maximálny krútiaci moment v ktorejkoľvek rýchlosti.

So servo-pohonom je možné nastaviť rýchlosť, zotrvanie a výšku zdvihu na základe aplikácie, čím je možné zvýšiť rýchlosť celého procesu tvárnenia. V porovnaní hydraulický lis môže tiež používať kratšie dĺžky zdvihu, ale povaha hydraulického výkonu dáva týmto lisom určité obmedzenia rýchlosti.

V dohľadnej dobe lisy s priamym-pohonom nenahradia ich náprotivky s nepriamym pohonom, nakoľko mechanický lis poháňaný zotrvačníkom dokáže stále pracovať s veľkými objemami relatívne priamočiaro a rýchlejšie ako servo-lis. Hydraulický lis zostáva stále jedinou technológiou s maximálnou menovitou silou dostupnou počas celého zdvihu, ktorý je ideálny pre extrémne hlboké ťahy (ale presnosť polohovania zdvihu nezodpovedá presnosti servo-lisu, ktorý môže posunúť šmýkadlo do určitého bodu v rámci niekoľkých mikrónov). (9)

3.6 Zhodnotenie pohonov lisov

Priamy pohon poskytuje veľkú flexibilitu výroby. Hlavným rozdielom medzi priamym a nepriamym pohonom je, že priamy pohon nemusí akumulovať energiu. Táto výhoda umožňuje presné ovládanie výstupu poháňaného mechanizmu s presnosťou na niekoľko mikrónov vďaka absencii prenosových prvkov ako sú napríklad remenice a remene, ktoré spôsobujú vysoký moment zotrvačnosti. Rýchlosť priameho pohonu je možné ovládať, čo prispieva k zlepšeniu kvality výrobkov pri správnom nastavení a takisto je možné zavádzať automatizáciu do výrobných liniek, ktorá má vďaka spomaleniu výstupného člena čas na výmenu materiálu alebo dielov. Schopnosť vyvedenia maximálneho krútiaceho momentu na pohone kedykoľvek, počas procesu zas poskytuje možnosť úplného zastavenia pohonu. To je možné využiť na pridanie výrobných procesov, keď sa výstupný člen použije ako upínacie zariadenie. Nevýhodou priameho pohonu je jeho vysoká cena oproti nepriamemu pohonu.

4 KĽUKOVÉ MECHANICKÉ LISY

Mechanické lisy s kľukovým mechanizmom majú v technológii tvárnenia výhody pred inými typmi lisov, napr. trecími vretenovými, hydraulickými a pod. Hlavná výhoda je ich veľká výrobnosť. Medzi nedostatky mechanických kľukových lisov patrí veľké nebezpečenstvo preťaženia niektorých častí pri tvárnení. Toto nebezpečenstvo je vyvolané zvláštnosťami ich

kinematickej väzby a dynamikou ich pohonného mechanizmu. Lis môžeme zaťažiť len takou silou, ktorá neprevýši dovolenú a menovitú silu lisu.

K prenosu sily od pohonu na tvárnený materiál je použitý kľukový mechanizmus. V porovnaní s výstredníkovými lismi majú konštantný zdvih šmýkadla. Môžu byť konštruované ako jednobodové – obr. 3.1 alebo viacbodové (dvojbodové – obr. 3.1 , štvorbodové – obr. 3.1).

Označovanie: napr. LU 100 (kľukový lis univerzálny o menovitej sile 1000 kN)

Tieto lisy majú obvyčajne univerzálne použitie – sú vhodné na strihanie, ohýbanie, plytké ťahanie, pretlačovanie za studena a za tepla, razenie, kovanie, ostrihávanie).

Jednotlivé kľukové lisy jednej typovej rady je možné vyrábať v rôznych stavebnicovo riešených variantách. Obvyklé konštrukčné prevedenie: elektromotorom je cez klinové remene poháňaný zotrvačník so vstavanou spojkou a ďalej cez ozubené prevody kľukový hriadeľ (kľukové koleso) kľukového mechanizmu. Spojka aj brzda sa používajú obvyčajne lamelové trecie s pneumatickým ovládaním. Činnosť spojky a brzdy je spriahnutá.

Zmenou polomeru kľukového hriadeľa a počtov zubov kľukového kolesa sa docieli požadovaných veľkostí lisu a požadovaného počtu zdvihov šmýkadla. (4)

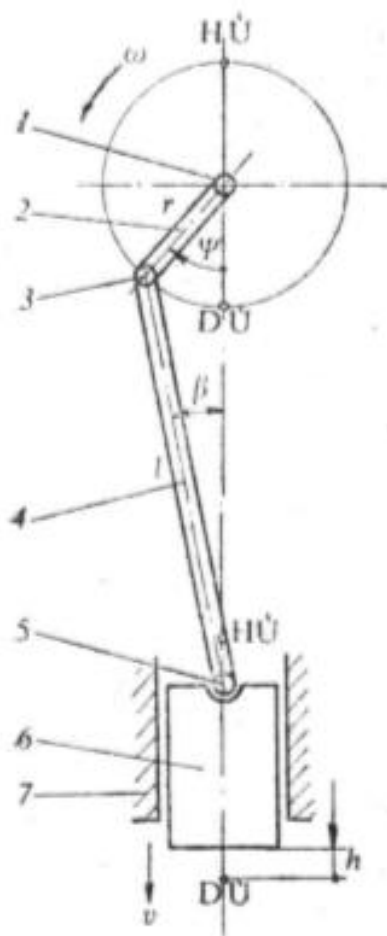
4.1 KINEMATIKA KĽUKOVÉHO MECHANIZMU

Výhodou všetkých typov kľukových mechanizmov je ich konštantný zdvih. Zdvih šmýkadla mechanického lisu je vlastne funkciou geometrických závislostí tvaru a rozmerov článkov pohonu.

Veľkosť zdvihu, menovitá sila a pracovné možnosti lisu dostatočne určujú hlavné parametre mechanizmov. Sily na šmýkadle používame na tvárnenie materiálu. Treba zdôrazniť, že šmýkadlo vytvára silu, ktorá je v rovnováhe s deformačným odporom, ktorý kladie materiál momentu zotrvačnosti zotrvačníka. V prípade prekročenia menovitej sily šmýkadlo nepostupuje plynule do spodného úvratu a môže poškodiť stroj (keď nenastane prešmyknutie spojky alebo nezaúčinkuje iné ochranné zariadenie v pohone).

Pretože pohyb šmýkadla je odvodený od kľukového mechanizmu, je rýchlosť veľmi blízka harmonickému pohybu, ktorého symetrickosť nevyhovuje technológii tvárnenia. Technológom (vzhľadom na ohraničenosť rýchlosti tvárnenia) najlepšie zodpovedá pomalé dosadenie nástroja, t.j. nesymetrický priebeh rýchlosti šmýkadla. Ide o taký priebeh, pri ktorom by rýchlosť šmýkadla bola na úseku tvárnenia čo najmenšia a na úseku spätného zdvihu veľká. Z toho vyplýva, že rýchlosť šmýkadla v čase tvárnenia by pre veľa technologických operácií mala byť konštantná. To spĺňajú jedine vačkové a viacčlenné mechanizmy.

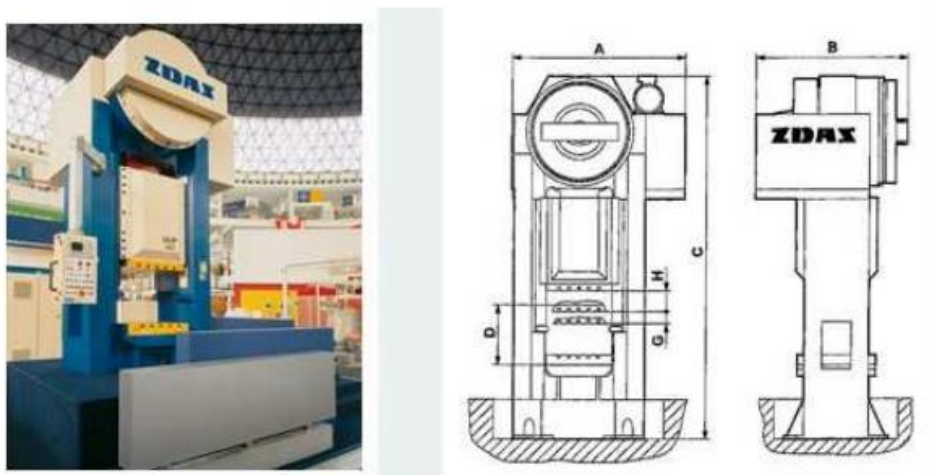
Kľukový mechanizmus sa v skupine mechanických lisov najviac používa, preto sa mu venuje najväčšia pozornosť. Úlohou kinematického rozboru je nájsť funkčné závislosti medzi dráhou šmýkadla a jeho rýchlosťou a zrýchlením. Pritom predpokladáme, že kľukový hriadeľ má konštantnú uhlovú rýchlosť. Kinematická schéma kľukového mechanizmu s popisom jej častí je zobrazená na obrázku 4.1. (2)



Obr. 4.1 Kinematika klukového mechanizmu (1 - klukový hriadeľ, 2 - kluka, 3 - klukový čap, 4 - ojnica, 5 - šmykadlový čap (klb), 6 - šmykadlo, 7 - vedenie šmykadla, r - polomer kluky, l - dĺžka ojnice, ψ - dráha kluky, h - zdvih šmykadla, HÚ - horná úvrat', DÚ - dolná úvrat', ω - uhlová rýchlosť kluky, v - rýchlosť šmykadla)

4.2 KLUKOVÉ UZAVRENÉ JEDNOBODOVÉ MECHANICKÉ LISY

Sú určené pre strihanie, ohýbanie, plytké ťahanie, pretlačovanie za studena a za tepla, razenie, kovanie a ostrihávanie. Vzhľadom k univerzálnosti použitia sú vhodné pre zaraďovanie do nepružných tvárniacich liniek a aj pružných automatizovaných výrobných systémov. Vystrihovacie (vysekávacie) lisy sú špeciálne určené pre vystrihovanie drobných súčastí zo zvitkov ocele aj neželezných kovov v hromadnej výrobe alebo z tenkých plechov a tenkostenných profilov. Ide o plechové skrine, rámy, kryty a podobné typické zámočnicke výrobky. Stroj je zvislý, jednobodový (s jedným pohybovým mechanizmom), jednočinný. Jednotlivé prevedenia sa líšia zdvihom šmykadla, ktorý je nemenný, počtom zdvihov za minútu, menovitým zdvihom a zovretím. Zovretie je nastaviteľné. Pre plynulosť chodu býva šmykadlo v stĺpoch stojana opatrené pneumatickými vyvažovačmi. Rám je uzatvorený, tvaru O. Na obrázku 4.2 je možné vidieť univerzálny jednobodový klukový lis od firmy Žďas. (1)



Obr. 4.2 Univerzálny kľukový jednobodový lis LKJP fy ŽDAS a.s.
(19)

4.3 KĽUKOVÉ UZATVORENÉ DVOJBODOVÉ A ŠTVORBODOVÉ MECHANICKÉ LISY

Sú určené pre bežné tvárniace operácie, predovšetkým však pre strihanie a za použitia pridržiavačov k ťahaniu aj rozmernejších súčastí z tenkých plechov. Sú vhodné pre zaradenie do tvárniacich liniek a dovoľujú použitie postupových nástrojov. Používajú sa k výrobe súčastí karosérií, v elektrotechnickom priemysle k vystrihávaniu statorových a rotorových plechov, pri výrobe klieťok valivých ložísk a pod. Ťažné lisy sa špeciálne používajú pre plytké ťahanie, ohýbanie a strihanie rozmernejších súčastí, napr. krytov, dverí, častí karosérie, chladničiek, sporákov a pod. Ostrihávacie lisy sú určené špeciálne pre ostrihávanie výkovkov za tepla aj za studena zo všetkých druhov oceli aj neželezných kovov. Je na nich možné samozrejme vykonávať aj bežné strihacie, ohýbacie a vyrovnávacie operácie. Na obrázku 4.3 sa nachádza dvojbodový kľukový lis od firmy Schuler. (1)

Servo press PK 3150 SDT

- 1 Crankshaft
- 2 Servo motors
- 3 Planetary gear
- 4 Uprights
- 5 Slide
- 6 Transfer
- 7 Die
- 8 Bed



Obr. 4.3 Kľukový dvojbodový Servo lis SCHULER PK 3150 SDT

Tieto lisy sú dvojbodové a rozmernejšie ako lisy štvorbodové, jednočinné. Šmýkadlo má nemenný zdvih, výškovo sa prestavuje, a tým sa mení zovretie. V dutine stola býva umiestnený vzduchový pridržiavač. Plynulý chod šmýkadla zaisťujú pneumatické vyvažovače umiestnené na stojane. Stojan, rám stroja, je uzatvorený, tvaru O, čo zaisťuje pracovnému priestoru vysokú tuhosť. Prevedenie stroja je zvislé. (1)

4.4 Kľukové lisy s priamym pohonom súčasnej produkcie

4.4.1 Dvoj-stojanový servo lis DSF-M2 od firmy Aida

Spoločnosť Aida vďaka svojej dlhoročnej skúsenosti s výrobou servo lisov nazbierala hodnotnú spätnú väzbu od zákazníkov, vďaka čomu zvýšila porozumenie technológii servo pohonov pre každodennú výrobu. Vďaka mnohým úpravám zvyšuje tvárnosť, flexibilitu a produktivitu. (10)



Obr. 4.4 Servo lis DSF-M2 od firmy Aida (11)

Dvoj-stojanové servo lisy Aida DSF-M2 (obr. 4.4) sú dostupné v jedno- alebo dvoj-prevodovej konfigurácii a obsahujú všetky funkcie a výhody celého radu servo lisov Aida, ako sú napríklad nekonečne programovateľné zdvihy a rýchlostné profily, servo motory s vysokým točivým momentom a nízkymi otáčkami a Aida ECO SERVO Press Energy Managment systémom minimalizujúcim náklady na energie. (10)

Servo motory Aida s vysokým točivým momentom a nízkymi otáčkami v kombinácii s mechanizmom poskytujú nepretržitú plnú pracovnú energiu počas jednej a viac otáčok, kdežto hodnota pre konvenčný mechanický lis sa pohybuje približne okolo 50% maximálnej rýchlosti. Vďaka regulácii rýchlosti šmýkadla v hornej polohe umožňuje automatizácii lisu posuv, presun, či výmenu materiálu, zatiaľ čo sa šmýkadlo stále pohybuje. Výstup linky sa vďaka tomu zvýši takmer o 50% v porovnaní s lismi, kde na funkciu automatizácie lisu musí šmýkadlo zastaviť v hornej úvrati. Nižšia energetická spotreba je zabezpečená vďaka veľkým kondenzátorm, ktoré ukladajú energiu, keď servo motor nie je zaťažovaný a pri zaťažení je

napájaný práve z týchto kondenzátorov a nie z hlavnej siete. Vo väčšine prípadov je spotreba energie nižšia ako pri konvenčných lisoch. Lisy Aida obsahujú vzduchovú bezpečnostnú brzdu medzi servomotorom a pohonom, ktorá zaberá, keď je motor mimo prevádzky. (12)

Typ	MCX-3150 / DSF-M2-3150	MCX-4000 / DSF-M2-4000		MCX-6300 / DSF-M2-6300		MCX-8000 / DSF-M2-8000		MCX-12500 / DSF-M2-12500	
Kapacita [kJ]	3150	4000		6300		8000		12500	
	jeden prevod	jeden prevod	dva prevody	jeden prevod	dva prevody	jeden prevod	dva prevody	jeden prevod	dva prevody
počet Servo motorov	1	1		1		2	1	2	
výkon Servo motora [kW]	290	290		500		580	500	1000	
Výška zdvihu [mm]	350	350	400	400	450	450	500	400	600
počet zdvihov pri celom pootočení kľuky /min	1 ÷ 60	1 ÷ 60	1 ÷ 35	1 ÷ 50	1 ÷ 35	1 ÷ 45	1 ÷ 40	1 ÷ 45	1 ÷ 30
počet zdvihov pri max kmitavom pohybe /min pri zdvihu 100 mm	1 ÷ 75	1 ÷ 80	1 ÷ 65	1 ÷ 60	1 ÷ 50	1 ÷ 65	1 ÷ 56	1 ÷ 53	1 ÷ 45

Tabuľka 2 Typy servo lisov DSF-M2 od firmy Aida a ich technické parametre (10)

4.4.2 Lisy H2FM so servo pohonom od firmy Komatsu

Progresívne dvojbodové servo lisy H2FM s vysokou tuhosťou rámu obsahujú pokročilé technológie pre výkonnosť a flexibilitu. Nová generácia týchto lisov je vyvinutá predovšetkým pre vysokú flexibilitu a presnosť výroby. (13)



Obr. 4.5 Servo lis H2FM od firmy Komatsu (13)

Pre zvýšenie produktivity sú lisy H2FM vybavené novým vodou chladeným servo motorom s minimálnym znížením pracovnej energie pri amplitúde rýchlosti. Osvedčený systém uskladňovania elektriny Komatsu znižuje kapacitu zdroja a šetrí energiu. Systém diaľkového monitorovania nepretržite kontroluje výkon stroja, ako aj vzájomné prepojené periférie. Všetky dáta sa ukladajú a sú prístupné cez internet. Vďaka vysokej tuhosti rámu šmýkadla a minimálneho vychýlenia stola lisu je umožnené presné tvarovanie. Veľkoplošný dotykový panel zlepšuje funkčnosť a prevádzky-schopnosť lisu. (13)

Typ	H2FM 400	H2FM 630		H2FM 800	
Kapacita [kN]	3600	5650		7200	
	jeden prevod	jeden prevod	dva prevody	jeden prevod	dva prevody
výkon Servo motora [kW]	325	495		495	
Výška zdvihu [mm]	350	400		500	
počet zdvihov pri celom pootočení kľuky /min	1 ÷ 70	1 ÷ 50		1 ÷ 40	
počet zdvihov pri max kmitavom pohybe /min pri zdvihu 100 mm	1 ÷ 100	1 ÷ 78		1 ÷ 84	

Tabuľka 3 Typy servo lisov H2FM od firmy Komatsu a ich technické parametre

4.4.3 Lisovacie linky so servo pohonom Schuler ServoLine

Lisovacia linka Schuler s technológiou ServoDirect je rýchla, kompaktná a flexibilná. Pre optimálne prispôsobenie veľkosti a špecifických požiadaviek výliskov, Schuler ponúka lisovacie linky s technológiou ServoDirect v dvoch veľkostiach v súlade s požiadavkami: Schuler ServoLine L a ServoLine XL. Ako je možné vidieť na obrátke 4.6 s parametrami lisov ServoLine, výstupná rýchlosť sa pohybuje od 16 do 23 zdvihov za minútu.

	ServoLine23 L	ServoLine18 XL	ServoLine16 XL
Output at maximum stroke rate	23	18	16
Max. press stroke rate	28	22	20
Min. press stroke rate (at full press force)	3	3	3
Drive	SDT	SDT	SDT
Number of main motors head press	3 × 390	4 × 390	3 × 690
Number of main motors follow-on presses	2 × 390	2 × 390 (3 ×)	2 × 690
Motor cooling system	Water	Water	Air
Slide stroke head press (mm)	1,100	1,300	1,100
Slide stroke follow-on presses (mm)	1,100	1,300	1,100
Press force head press (kN)	20,000	25,000 (21,000)	25,000 (20,000)
Press force follow-on presses (kN)	14,000	12,000 (18,000)	10,000 (16,000)
Clamping area max. (mm × mm)	3,600 × 2,000	4,600 × 2,500	4,600 × 2,500
Max. die size (mm × mm)	4,100 × 2,100	5,000 × 2,600	5,000 × 2,600

Obr. 4.6 Základné parametre rady lisov ServoLine od firmy Schuler (14)

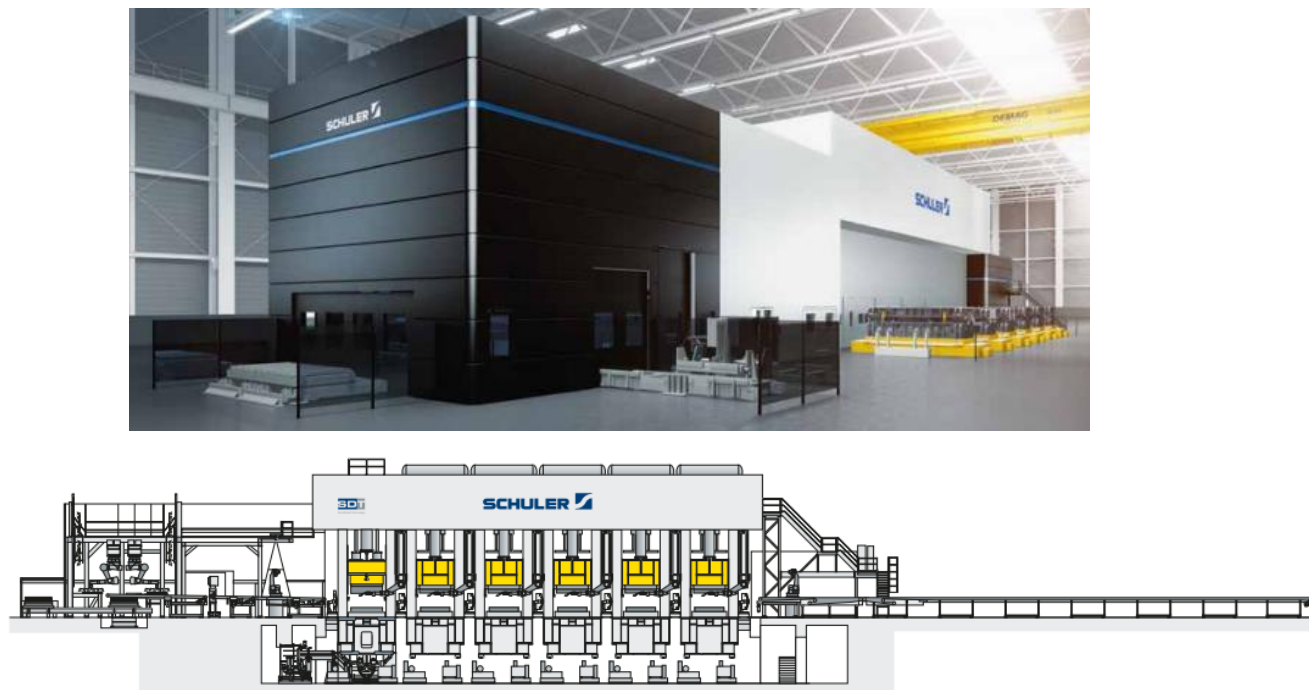
ServoLine ponúka maximálny výkon so zníženými energetickými požiadavkami. Voľne programovateľný posuvný pohyb nielen šetrí zdroje, ale čo je dôležitejšie, môže byť individuálne prispôsobený pre každý obrobok pri procese tvárnenia, prepravy zápustiek a dielov. V prípade identických procesov to vedie k nárastu výstupov pre jedno, dvoj alebo štvornásobné diely pre flexibilnú zmes materiálov z ocele, hliníka a ocele s vysokou pevnosťou.

Technológia ServoDirect sa neustále rozvíja ďalej aby sa uspokojil rastúci počet požiadaviek na zápustky a dizajn v automobilovom priemysle. V skutočnosti je celá rada podmienená z hľadiska výkonnosti, ale súčasne aj znižovaním energetických požiadaviek. Medzi ďalšie výhody patrí nová efektívnejšia regulácia linky, predovšetkým pokiaľ ide o rýchlosť, ale rovnako aj integrácia ďalších výrobných procesov, ako sú zváranie alebo dokonca nitovanie v lisovacej linke. Pritom lis určený pre veľké diely, ServoLine18 XL, dosiahne rýchlosť 18 zdvihov, zatiaľ čo ServoLine23 L sa môže pochváliť rýchlosťou 23 zdvihov za minútu.

Výhody lisovacej linky so ServoDirect technológiou – veľmi vysoký výkon na výstupe, vysoký stupeň flexibility, zníženie nákladov na diely, voľne programovateľný posuvný pohyb, optimálne prispôsobenie rôznym procesom tvárnenia, kompaktný dizajn lisovacej linky, plne automatická výmena zápustiek a nástrojov do troch minút, skúška zápustky v raziacom móde s pomalou, definovanou rýchlosťou, užívateľsky príjemné rozhranie, ergonomické vyprázdňovanie súčiastok, jednoduchá údržba (zotrvačník, spojka a brzda sú minulosťou).

Oproti konvenčným vysoko-rýchlostným lisovacím linkám, lisovacia linka so servo pohonom ušetrí okolo 50 % nákladov na energiu, vďaka systému Schuler ECOFORM. Ten optimalizuje interakcie medzi všetkými komponentami až po použitie nových postupov

a systémových riešení. Nové lisovacie linky so servo pohonom sú vybavené vlastnými jednosmernými napájacími zdrojmi, systémami pohonu s riadením rýchlostí a regenerácie (Smart Grid), inteligentnými pohotovostnými a prerušovacími spínačmi a komponentami ako napríklad energeticky účinné vankúše stola. A v neposlednej rade, zvýšením samotnej hodnoty výstupu bude spotreba energie na jeden diel znížená z dlhodobého hľadiska. (14)



Obr. 4.7 Lisovacia linka ServoLine (14)

ServoLine23 L – najrýchlejšia lisovacia linka na svete. Užívateľov zaujme svojou flexibilitou, vysokou mierou produktivity, nízkou cenou dielov a energetickou účinnosťou. Tento model nie je ideálny iba na výrobu ocelových a hliníkových súčiastok, ale umožňuje aj rýchle obrábanie vysokopevnostných ocelí s procesnou spoľahlivosťou.

ServoLine18 XL – zvyšuje efektívnosť. Sľubuje veľmi vysoký výkon na výstupe, ako aj rýchle spustenie sériovej výroby pre veľké obrobky vyrobené z najširšej škály materiálov.

ServoLine16 XL – zvyšuje flexibilitu. S maximálnym výkonom na výstupe 16 zdvihov za minútu je skvelý východiskový bod, pokiaľ ide o servo technológiu. V porovnaní s konvenčnou linkou ponúka zvýšenú flexibilitu vďaka voľnému programovaniu posuvných pohybov. Najširší rozsah obrobkov môže byť vyrobený v optimálnej úrovni kvality. (14)

4.4.4 Pokročilé servo lisy Shuler s TwinServo technológiou



Obr. 4.8 Postupový lis s TwinServo technológiou (15)

TwinServo Press	
Decentralized	TwinServo drive
Press capacity [kN/US tons]	16,000 / 1,800 US
Main motors	2 x AC servo torque motors 503 kW
Connection points	4
Bolster dimensions [L x B] [mm/in.]	5,000 x 2,200 / 197 x 87
Slide stroke [mm/in.]	600 / 24
Slide adjustment [mm/in.]	300 ± 0,1 / 12 ± 0.004
Stroke rate	controllable 3 – 30 spm or 3 – 40 spm in pendular mode without transfer

Obr. 4.9 Technické údaje 1,600 t TwinServo lisu z obrázka 4.3 (15)

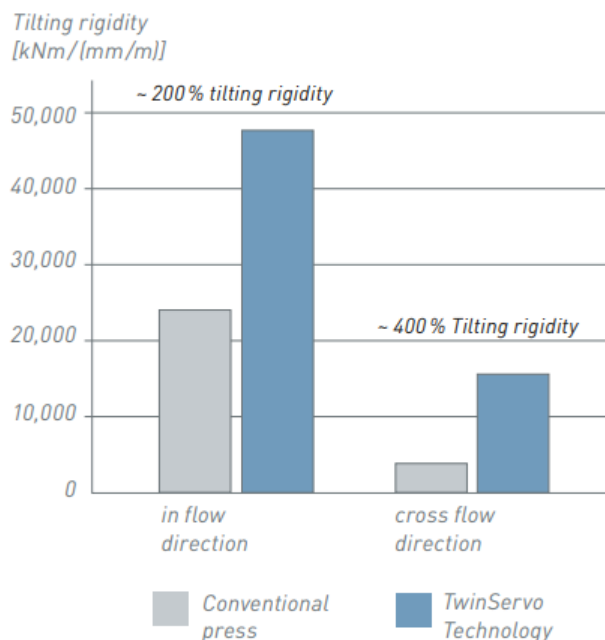
Press force [kN/US tons]	10,000/1,125	16,000/1,800	20,000/2,250	25,000/2,810	30,000/3,300	35,000/3,850
Bolster length [mm/in.]	Bolster width [mm/in.] standard and option*					
5.000/196.8	2,200/86.6	2,200/86.6*	2,500/98.4*	3,000/118		
			2,200/86.6*	2,500/98.4*		
6.000/236.2		2,500/98.4	2,500/98.4	3,000/118	3,000*	3,000/118*
			2,200/86.6*	2,500/98.4*	2,500/98.4*	
7.000/275.6				3,000/118	3,000/118	3,000/118*
				2,500/98.4*	2,500/98.4*	
8.000/315					3,000/118	3,000/118
					2,500/98.4*	
Slide stroke [mm/in.]	600/23.6	600/23.6	600/23.6	750/29.5	750/29.5	750/29.5
Press capacity millimeter before BDC [mm / in.]	6/0.24	6/0.24	6/0.24	6/0.24	6/0.24	6/0.24
Pressure points	4	4	4	4	4	4
Stroke rate at max. stroke** and constant speed [spm] / rated capacity [kJ]	40/400	35/500	40/900	30/1200	25/1500	25/1500
Pendular stroke rate at 1/3 stroke** [spm] / rated capacity [kJ]	50/250	50/250	60/400	40/650	35/700	30/900

* Option / ** Deviations possible depending on the motion curve and the force profile.

Obr. 4.10 Základné parametre servo lisov s technológiou TwinServo od firmy Schuler (15)

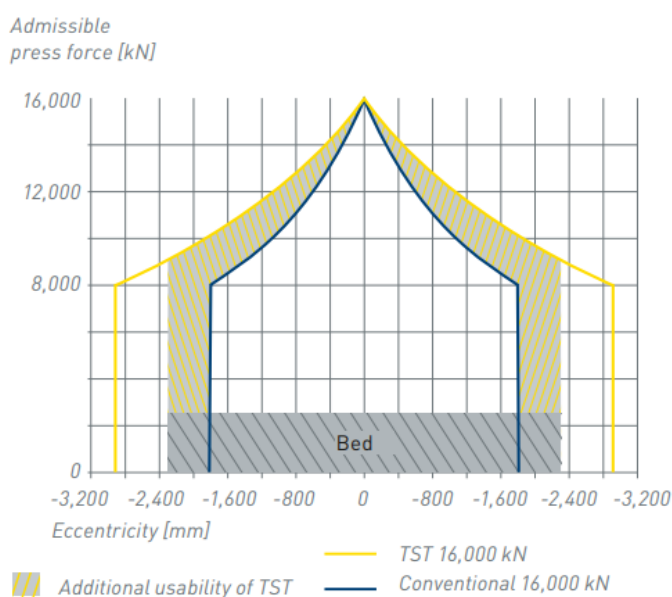
Na obrázku 4.8 je možné vidieť postupový lis s TwinServo technológiou pohonu od firmy Schuler v kombinácii s jeho parametrami na obrázku 4.9. Porovnanie parametrov lisov jednej typovej rady s technológiou TwinServo je na obrázku 4.10.

TwinServo technológia reprezentuje zlepšenie v tvárniacom procese, je „zelenšia“, má menší pôdorys a je užívateľsky prívetivá. (15)



Obr. 4.11 Porovnanie tuhosti proti nakloneniu pri zaťažení mimo stred zaťaženia stroja (15)

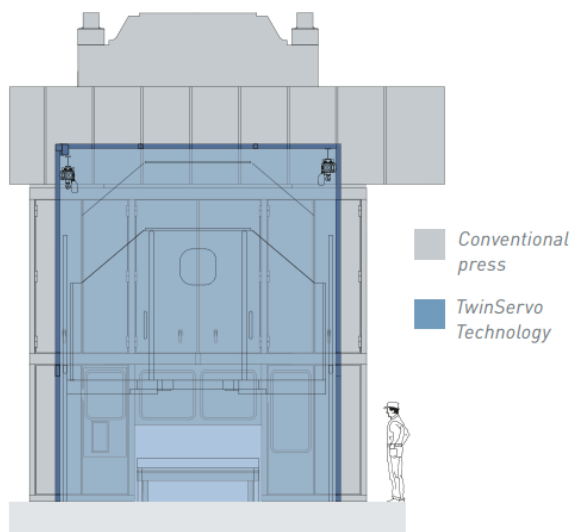
TwinServo technológia ponúka zvýšenie flexibility v konfigurácii záпустky. Nové možnosti metodiky plánovania sú možné vďaka väčším dovoleným silám v jednotlivých staniciach, ako napríklad výrazne väčšia zaťažiteľná kapacita stroja mimo stred zaťaženia stroja. Extrémne vysoká stabilita naklonenia, kombinovaná s menším pružením, zvyšuje kvalitu súčiastok, pomáha redukovať opotrebenie záпустky a skráti čas rozbehu záпустky. (15)



Obr. 4.12 Zaťaženie mimo stred zaťaženia stroja (15)

Ako je možné vidieť na obrázku 4.12, účinok mimo stredu zaťaženia vedie k náklonu šmýkadla. Vyskytujúce sa zotrúvajúce naklonenie je plne kompenzované paralelnou podpornou funkciou TwinServo technológie.

Ekologické aspekty úplného zvukového ochranného krytu a absencia oleja na pracovisku v kombinácii s výrazne lepšou viditeľnosťou v pracovnom priestore tvorí lis s TwinServo technológiou užívateľsky príjemný stroj. (15)

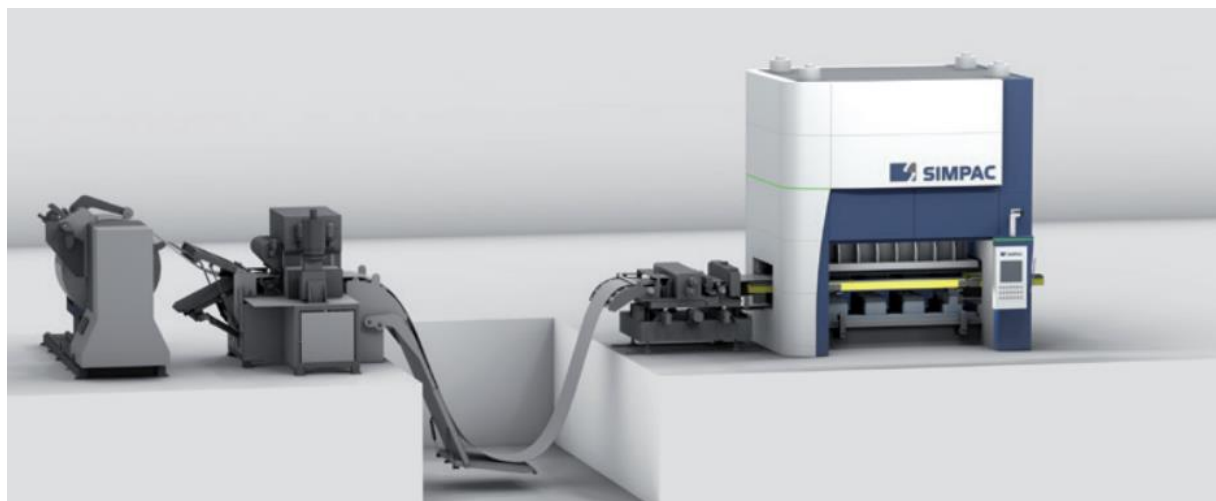


Obr. 4.13 Porovnanie konvenčného lisu s lisom s TwinServo technológiou (15)

Malý pôdorys a menšia výška haly, kombinované s úsporami z klimatizovania haly sú prídavnou výhodou TwinServo technológie.(obr. 4.13) (15)

4.4.5 Lisy so servo pohonom série MX (obr. 4.14 a 4.15) a SX (obr. 4.16 a 4.17) od firmy SIMPAC

Servo lisy s kapacitou od 8 000 do 30 000 kN pre stredné až veľké diely. Voľne programovateľná kinematika posuvu vďaka servo pohonu, čím ponúkajú vysokú flexibilitu pri výrobe. V kombinácii s vysokou hodnotou tuhosti konštrukcie lisu a pohonu, poskytujú konzistentne vysokú kvalitu dielov. Vhodné na použitie pre kovanie, rezanie, ohýbanie, razenie, ťahanie či integrovanie následných procesov. (16)



Obr. 4.14 Servo lis zo série MX od firmy SIMPAC (16)

Model	MX2-300	MX2-400	MX2-600	MX2-800	MX2-1000
Press capacity in kN	3,000	4,000	6,000	8,000	10,000
Stroke rate* in 1/min	3-90	3-80	3-70	3-60	3-60
Stroke length in mm	250	350	350	350	350
Slide adjustment in mm	150	200	250	250	300
Die height** in mm	550	600	800	800	900
Slide dimensions in mm	2,600 x 1,000	2,800 x 1,300	4,000 x 1,500	4,000 x 1,500	4,000 x 1,500
Bolster dimensions in mm	2,700 x 1,100	2,800 x 1,300	4,000 x 1,500	4,000 x 1,500	4,000 x 1,500

*Depending on programmed stroke length, slide kinematics, part dimension and existing die limitations

**Slide stroke down, adjustment up (SDAU) | All models in 2-point design | Subject to technical modifications

Obr. 4.15 Technické špecifikácie série MX od firmy SIMPAC (16)



Obr. 4.16 Servo lis zo série SX od firmy SIMPAC

Model	SX-800 2P 4P	SX-1000 2P 4P	SX-1250 2P 4P	SX-1600 2P 4P	SX-2000 4P	SX-2500 4P	SX-3000 4P
Press capacity in kN	8,000	10,000	12,500	16,000	20,000	25,000	30,000
Stroke rate* in 1/min	3-55	3-50	3-40	3-38	3-38	3-34	3-34
Stroke length in mm	500	500	600	600	800	800	800
Slide adjustment in mm	400	400	400	400	400	400	400
Die height** in mm	1,100	1,100	1,200	1,400	1,500	1,500	1,650
Slide and bolster dimensions in mm	4,600 x 1,800	5,100 x 1,800	5,100 x 1,800	6,100 x 1,800	6,100 x 2,500	6,100 x 2,500	6,100 x 2,500
	4,600 x 2,200	5,100 x 2,500	5,100 x 2,500	6,100 x 2,500	7,300 x 2,500	7,300 x 2,500	7,300 x 2,500

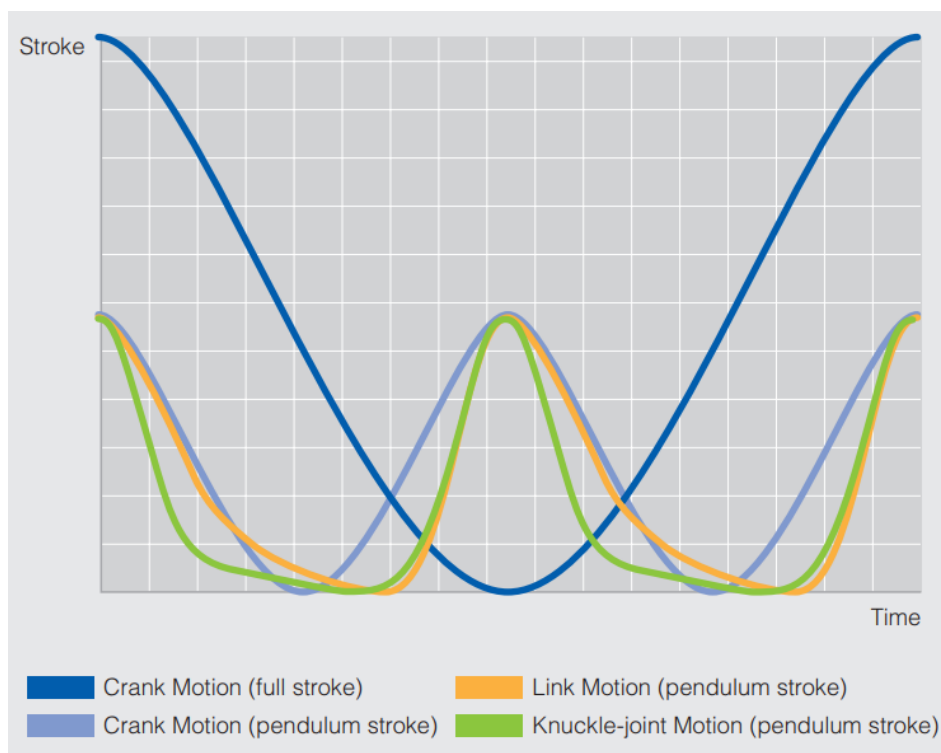
*Depending on programmed stroke length, slide kinematics, part dimension and existing die limitations

**Slide stroke down, adjustment up (SDAU) | 2P = 2-point design, 4P = 4-point design | Subject to technical modifications

Obr. 4.17 Technické parametre série SX od firmy SIMPAC (16)

Aplikácia a výhody. Prevádzka je možná v režime jednotlivých zdvihov v postupnom alebo pretláčacom móde, či ako súčasť plne automatizovanej lisovacej linky. Kompaktný design si vyžaduje malú plochu podlahy a pre lisy s kapacitou pod 6 000 kN si nevyžaduje ani základy. Motor, výkonová elektronika, pridržiavacia sila, mazanie a kontroly sú nemeckého pôvodu a zaručujú dlhú prevádzku, maximálnu dynamiku a dobrú dostupnosť náhradných dielov. Systém posuvného vedenia zabezpečuje vysoký stupeň tuhosti v ohybe a redukuje dopad strižných síl počas procesu výroby dielov z materiálov s vysokou pevnosťou. Proti preťaženiu sa používa hydraulická poistka aby nedošlo k poškodeniu lisu alebo záпустky. (16)

Vysoko dynamický priamy pohon série MX a SX umožňuje v kmitavom pohybe výrazný nárast výkonu v porovnaní s konvenčným pohonom lisu. Vďaka individuálnemu programovaniu pohybu šmýkadla môže byť proces tvarovania optimálne prispôsobený požiadavkám záпустky a výlisku. Okrem voľnej programovateľnosti pohybu šmýkadla môže obsluha vyberať medzi tromi preddefinovanými krivkami pohybu šmýkadla (obr. 4.18), ktoré môžu byť zvolené buď v plnom alebo v kmitavom rozsahu pohybu. Pre razenie a strihanie kl'ukový (sínusový) priebeh (crank motion), pre ťahanie spojitý pohyb (link motion), pre pretláčanie a pre hrubé alebo veľmi pevné materiály pohyb kolenového mechanizmu (knuckle-joint motion). Zvolený simulačný program umožňuje presnú predikciu očakávaného výstupu pre konkrétny diel. Pri výpočte sa berie do úvahy výkon motora, výkonová elektronika, mechanické podmienky, podmienky prostredia a výkon chladiaceho systému. (16)



Obr. 4.18 Voliteľné priebehy pohybu šmýkadla (16)

4.4.6 Porovnanie kľukových lisov s priamym pohonom súčasnej produkcie

	Aida DSF-M2	Komatsu H2FM	Schuler		Simpac	
			ServoLine	TwinServo	MX	SX
Kapacita [kN]	3150 ÷ 12 500	3 600 ÷ 7 200	20 000 ÷ 25 000	10 000 ÷ 35 000	3 000 ÷ 10 000	8 000 ÷ 30 000
výkon Servo motora [kW]	290 ÷ 1 000	325 ÷ 495	3x390 ÷ 3x690	-	-	
Výška zdvihu [mm]	350 ÷ 600	350 ÷ 500	1 100 ÷ 1 300	600 ÷ 750	250 ÷ 350	500 ÷ 800
počet zdvihov pri celom pootočení kľuky /min	(1 ÷ 60) ÷ (1 ÷ 30)	(1 ÷ 70) ÷ (1 ÷ 40)	(3 ÷ 28) ÷ (3 ÷ 20)	40 ÷ 25	(3 ÷ 90) ÷ (3 ÷ 60)	(3 ÷ 55) ÷ (3 ÷ 34)
počet zdvihov pri max kmitavom pohybe /min pri zdvihu 100 mm	(1 ÷ 75) ÷ (1 ÷ 45)	(1 ÷ 100) ÷ (1 ÷ 84)	-	-	-	
počet zdvihov pri max kmitavom pohybe /min pri 1/3 zdvihu	-	-	-	50 ÷ 30	(1 ÷ 100) ÷ (1 ÷ 84)	

Tabuľka 4 Porovnanie technických parametrov lisov s priamym pohonom súčasnej produkcie

Lisy s priamym pohonom súčasnej produkcie majú za cieľ zvýšenie efektivity výroby a zníženie nákladov na výrobu. Toto je zabezpečené vďaka voľne programovateľnému pohybu šmykadla.

Táto funkcia ponúka zvýšenie produkcie výroby, vďaka možnosti aplikácie automatizovania výroby a pridávaniu ďalších výrobných procesov. Možnosť nastavovania rýchlosti pohybu prispieva pri správnej realizácii spolu s vysokou tuhosťou rámu lisu k zvýšeniu kvality výliskov. Výsledkom je znižovanie času výrobného procesu a znižovanie energetických požiadaviek.

Všetky uvedené spoločnosti sa snažia o znižovanie energetických požiadaviek aj systémami na uchovávanie energie. V týchto systémoch sa akumuluje energia pri časti zdvihu bez zaťaženia motora a je uvoľnená vo chvíli, keď pohon potrebuje špičkový výkon, čo znižuje nároky na elektrickú sieť.

5 VÝPOČET ZÁKLADNÝCH PARAMETROV KLUKOVÉHO MECHANIZMU

5.1 Zadané technické parametre

Počet tlačných bodov: 2

Menovitá sila: $F_j = 6\,300\text{ kN}$

Menovitá dráha: $s = 5\text{ mm}$

Počet zdvihov trvale: $15 - 30\text{ 1/min}$

Počet zdvihov nastavenia: 5 min^{-1}

Zdvih šmýkadla: $Z = 250\text{ mm}$

Prestavenie šmýkadla: 200 mm

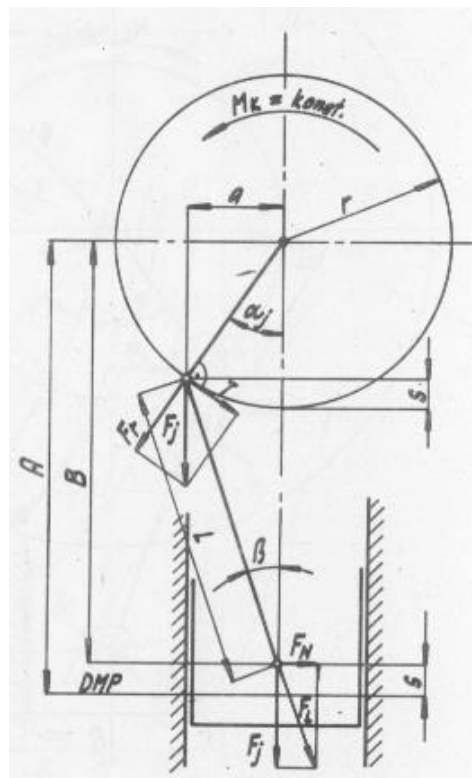
Dĺžka ojnice: $L = 1\,200\text{ mm}$

Polomer trecej plochy medzi šmýkadlom a ojnicou: $r_e = 110\text{ mm}$

Polomer trecej plochy medzi kľukovým čapom a ojnicou: $r_k = 325\text{ mm}$

Polomer trecej plochy medzi kľukovým hriadeľom a stojanom: $r_o = 125\text{ mm}$

5.2 Sily a momenty na kľukovom ústrojenstve bez trenia



Obr. 5.1 Sily a momenty na kľukovom ústrojenstve bez trenia (8)

Kľukový mechanizmus je zaťažovaný menovitou silou F_j po uhol natočenia kľuky α_j , pričom šmýkadlo, na ktoré je prepojené s mechanizmom ojnicou dĺžky L , vykoná dráhu s (obr. 5.1).

Pre rozklad síl bez trenia, pri neuvažovaní dĺžky ojnice, platí vzťah: $M_K = \text{konst.} = T_{KL} \cdot r = F_j \cdot a$, kde r je polomer kľuky a T_{KL} je dotyková sila na polomere kľuky. (8)

Polomer kľuky r :

$$r = 0,5 \cdot Z = 0,5 \cdot 250 = 125 \text{ mm} \quad (1)$$

Pomer K polomeru kľuky k dĺžke ojnice:

– Volí sa $K = \frac{1}{10} \div \frac{1}{20}$ pri univerzálnych a kľukových lisoch

$$K = \frac{r}{L} = \frac{125}{1200} = 0,104 \quad (2)$$

Vzdialenosť čapu v šmýkadle od osy kľukového kola A :

$$A = L + r = 1200 + 125 = 1325 \text{ mm} \quad (3)$$

Vzdialenosť čapu šmýkadla od osy kľukového hriadeľa na začiatku pracovnej časti zdvihu B :

$$B = A - s = 1325 - 5 = 1320 \text{ mm} \quad (4)$$

Uhol medzi ojnicou a smerom pohybu šmýkadla β :

$$\beta = \arccos \frac{L^2 + B^2 - r^2}{2 \cdot L \cdot B} = \arccos \frac{1200^2 + 1320^2 - 125^2}{2 \cdot 1200 \cdot 1320} = 1,593^\circ \quad (5)$$

Menovitý uhol lisu α_j :

$$\alpha_j = \arcsin \left(\frac{L}{r} \cdot \sin \beta \right) = \arcsin \left(\frac{1200}{125} \cdot \sin 1,593 \right) = 15,478^\circ \quad (6)$$

Sila v ojnici F_L :

$$F_L = \frac{F_j}{\cos \beta} = \frac{6300 \cdot 10^3}{\cos 1,593^\circ} = 6302435,8 \text{ N} \quad (7)$$

Normálová sila do vedenia šmýkadla F_N :

$$F_N = F_j \cdot \tan \beta = 6300 \cdot 10^3 \cdot \tan 1,593^\circ = 175204,6 \text{ N} \quad (8)$$

Veľkosť dotyčnicovej sily na polomere kľuky T_{KL} :

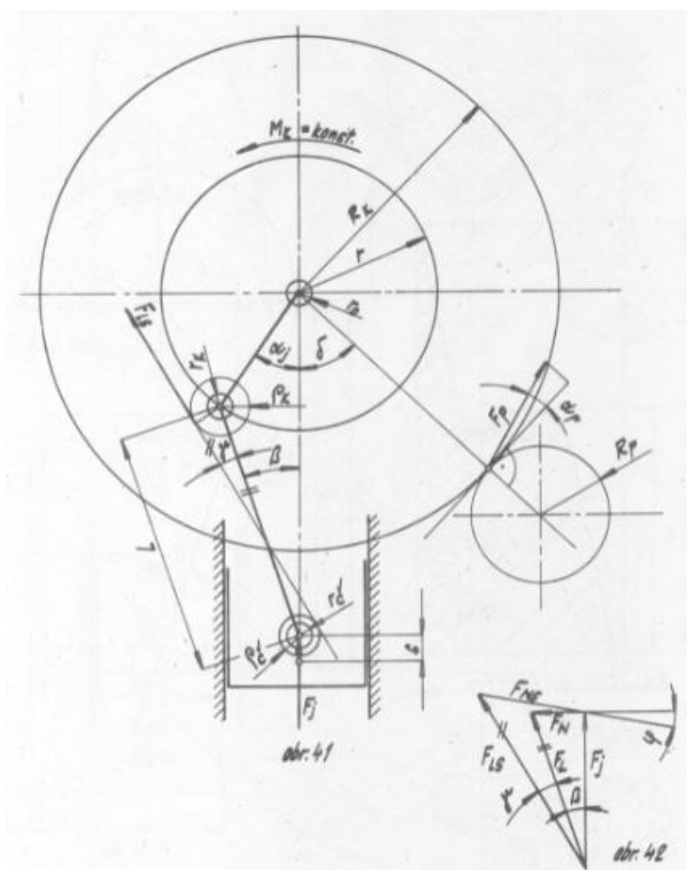
$$T_{KL} = F_j \cdot \left(\sin \alpha_j + \frac{K}{2} \cdot \sin 2 \cdot \alpha_j \right) = 6300 \cdot 10^3 \cdot \left(\sin 15,478^\circ + \frac{0,104}{2} \cdot \sin (2 \cdot 15,478^\circ) \right) = 1849781,4 \text{ N} \quad (9)$$

Krútiaci moment na kľukovom kolese M_K :

$$M_K = \frac{F_j \cdot r \cdot \sin (\alpha + \beta)}{\eta_{KL} \cdot \cos \beta} = \frac{6300 \cdot 10^3 \cdot 125 \cdot \sin (15,478^\circ + 1,593^\circ)}{0,8 \cdot \cos 1,593^\circ} = 289081421,2 \text{ Nmm} \quad (10)$$

η_{KL} – účinnosť kľukového mechanizmu, býva $0,7 \div 0,9$, volím $\eta_{KL} = 0,8$

5.3 Sily a momenty na kľukovom ústrojenstve s uvažovaním trenia



Obr. 5.2 Sily a momenty kľukového ústrojenstva s trením (8)

Ked' uvažujeme trenie na mechanizme, tak proti pohybu pôsobia trecie sily a momenty. Obrázok 5.2 ukazuje sily a momenty na kľukovom ústrojenstve pri uvažovaní trenia. Ramená síl sa zväčšujú o trecie polomery, sila na ojnici sa zošikmuje a zväčšuje sa. (8)

Trecí polomer medzi šmýkadlom a ojnicou ρ_c :

$$\rho_c = \mu \cdot r_c = 0,04 \cdot 110 = 4,4 \text{ mm} \quad (11)$$

μ - súčiniteľ trenia klzného ložiska

Trecí polomer medzi kľukovým čapom a ojnicou ρ_k :

$$\rho_k = \mu \cdot r_k = 0,04 \cdot 325 = 13 \text{ mm} \quad (12)$$

Trecí polomer medzi kľukovým hriadeľom a stojanom ρ_o :

$$\rho_o = \mu \cdot r_o = 0,04 \cdot 125 = 5 \text{ mm} \quad (13)$$

Trecí uhol klzných plôch φ_{tr} :

$$\varphi_{tr} = \arctg \mu = \arctg 0,04 = 2,29^\circ \quad (14)$$

Zošikmenie smeru sily v ojnici vplyvom trenia voči ose ojnice γ :

$$\gamma = \arcsin \frac{\mu \cdot (r_c + r_k)}{L} = \arcsin \frac{0,04 \cdot (110 + 325)}{1200} = 0,83^\circ \quad (15)$$

Skutočná veľkosť sily v ojnici F_{LS} :

$$F_{LS} = F_j \cdot \frac{\cos \varphi_{tr}}{\cos (\beta + \gamma + \varphi_{tr})} = 6300 \cdot 10^3 \cdot \frac{\cos 2,29^\circ}{\cos (1,593^\circ + 0,83^\circ + 2,29^\circ)} = 6316325,7 \text{ N} \quad (16)$$

Ideálne rameno sily a_{id} :

$$a_{id} = r \cdot \left(\sin \alpha_j + \frac{K}{2} \cdot \sin 2\alpha_j \right) = 125 \cdot \left(\sin 15,478^\circ + \frac{0,104}{2} \cdot \sin (2 \cdot 15,478^\circ) \right) = 36,702 \text{ mm} \quad (17)$$

Trecie rameno sily a_{tr} :

$$\begin{aligned} a_{tr} &= \mu \cdot ((1 + K) \cdot r_k + K \cdot r_c + r_o) = \\ &= 0,04 \cdot ((1 + 0,104) \cdot 325 + 0,104 \cdot 110 + 125) = 19,81 \text{ mm} \end{aligned} \quad (18)$$

Skutočný krútiaci moment na kľukovom hriadeľi M_{Kskut} :

$$M_{Kskut} = F_j \cdot a_{celk} = F_j \cdot (a_{id} + a_{tr}) = 6300 \cdot 10^3 \cdot (36,702 + 19,81) = 356\,025\,600 \text{ Nmm} \quad (19)$$

6 NÁVRH POHONU LISU

6.1 Zadané technické parametre

Počet zdvihov v režime trvalého chodu: $15 \div 30 \text{ min}^{-1}$

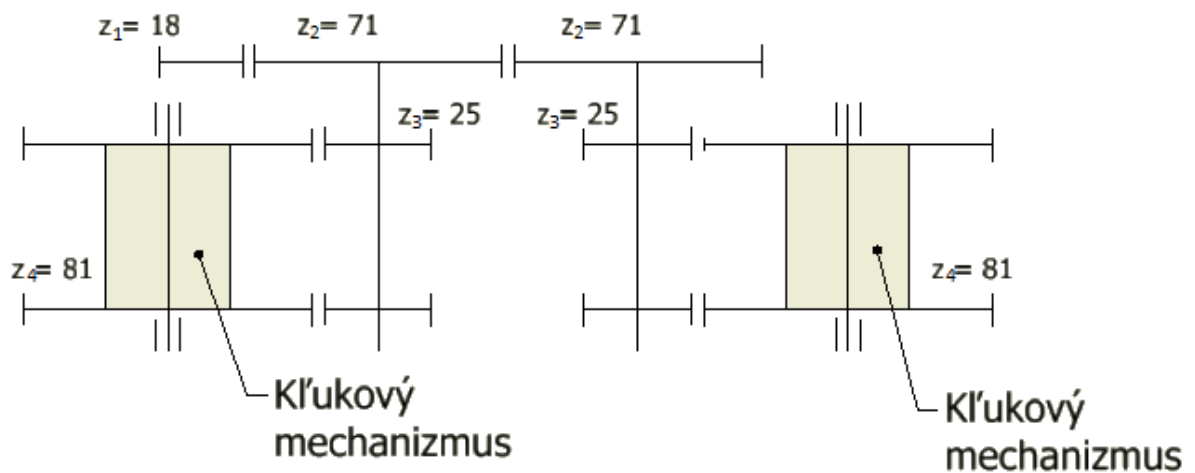
Počet zdvihov v režime nastavenia: 5 min^{-1}

Počet zubov 1. ozubeného kolesa: $z_1 = 18$

Počet zubov 2. ozubeného kolesa: $z_2 = 71$

Počet zubov 3. ozubeného kolesa: $z_3 = 25$

Počet zubov 4. ozubeného kolesa: $z_4 = 81$



Obr. 6.1 Zadaná schéma pohonu pre výpočet

6.2 Návrh priameho pohonu kľukového lisu

Prevodový pomer 1. a 2. stupňa:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{71}{18} = 3,9\bar{4} \quad (20)$$

Prevodový pomer 3. a 4. stupňa:

$$i_{34} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{81}{25} = 3,24 \quad (21)$$

Celkový prevodový pomer:

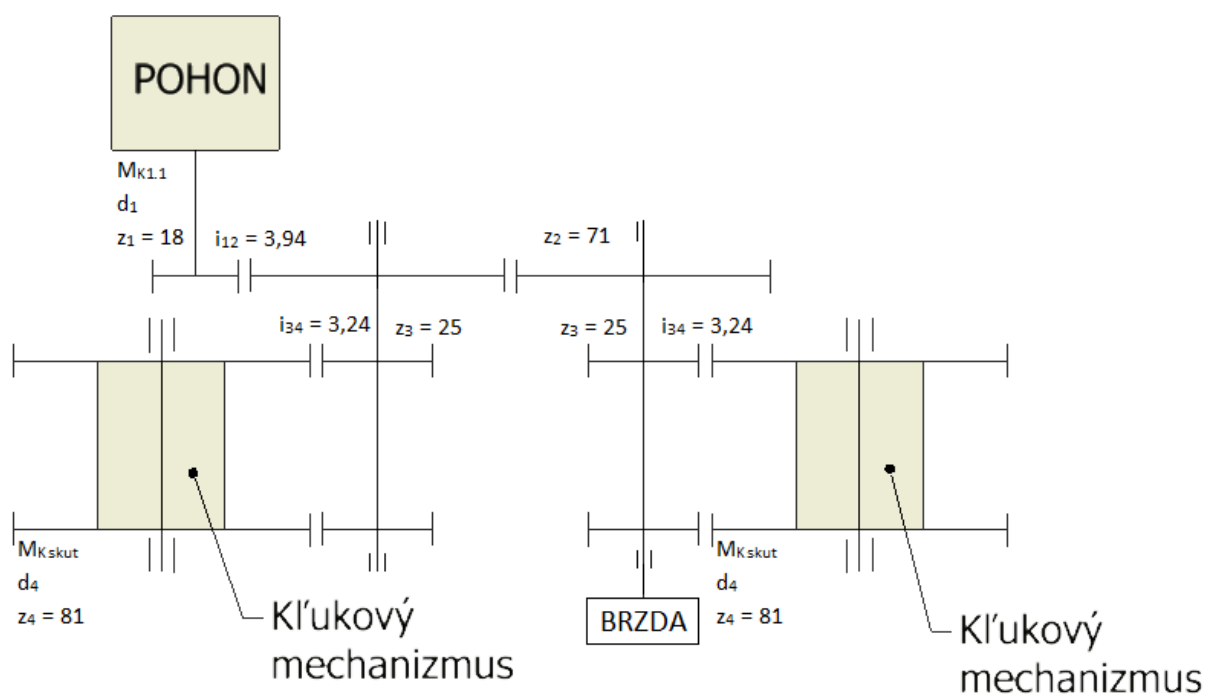
$$i_{cp} = i_{14} = i_{12} \cdot i_{34} = 3,94 \cdot 3,24 = 12,78 \quad (22)$$

Potrebný krútiaci moment na pastorku d_1 , z rovnosti $M_{K1} \cdot \omega_1 = M_{K4} \cdot \omega_4$:

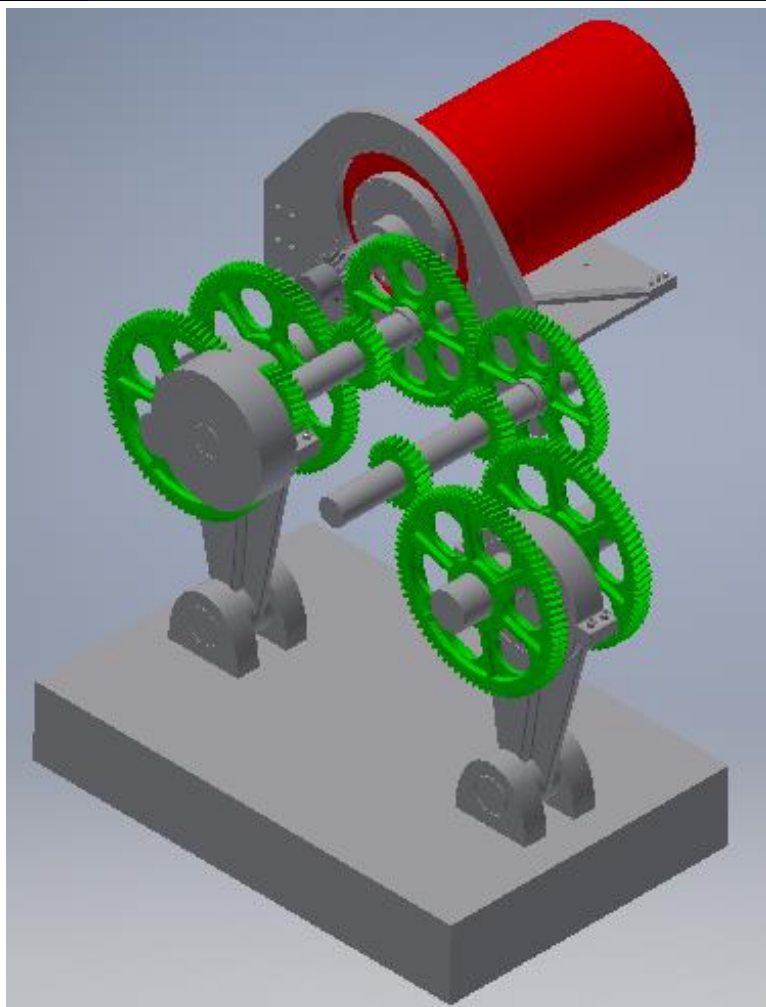
$$M_{K1.1} = \frac{M_{K4} \cdot \omega_4}{\omega_1} = \frac{M_{K4} \cdot n_4}{n_1} = \frac{M_{K4}}{i_{cp}} = \frac{356\,052,6}{12,78} = 27\,860,14 \text{ Nm} \quad (23)$$

Varianta 1:

Volím trojfázový synchronný TF Torque motor od firmy Oswald TF46.200 s menovitým krútiacim momentom $M_N = 34\,600 \text{ Nm}$, menovitým výkonom $P_N = 725 \text{ kW}$ a menovitými otáčkami $n_N = 200 \text{ min}^{-1}$. Na obrázku 6.2 je znázornená zvolená schéma pohonu pre variantu 1 a na obrázku 6.3 je 3D model tejto varianty návrhu pohonu.



Obr. 6.2 Schéma priameho pohonu, varianta 1

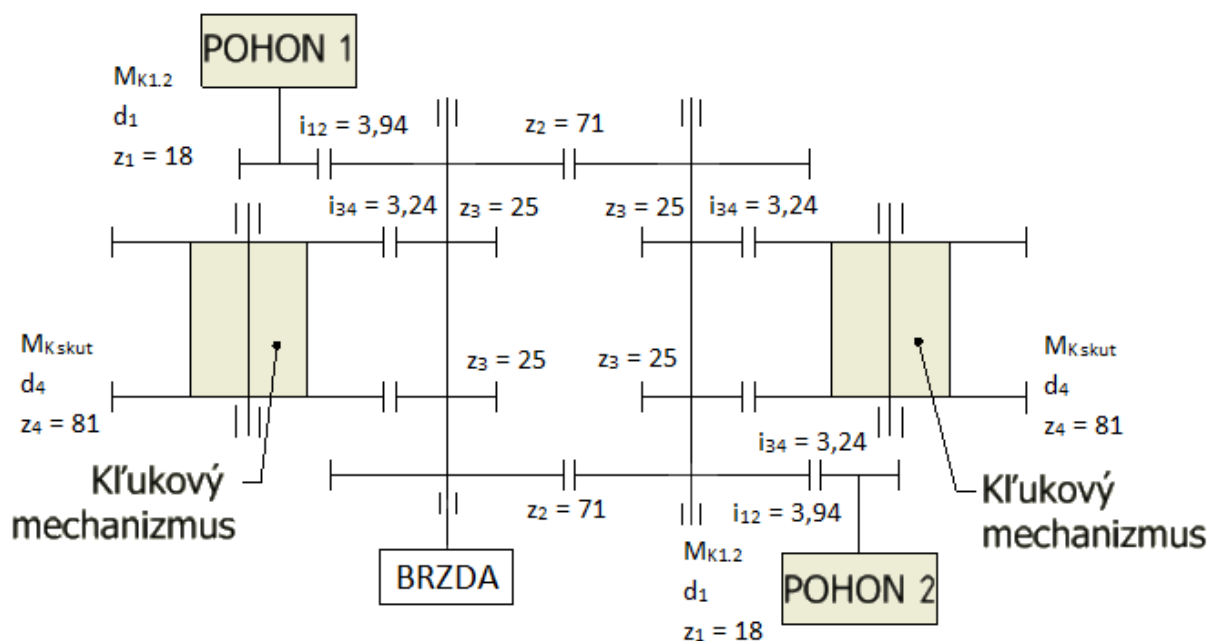


Obr. 6.3 3D model priameho pohonu - varianta 1

Varianta 2:

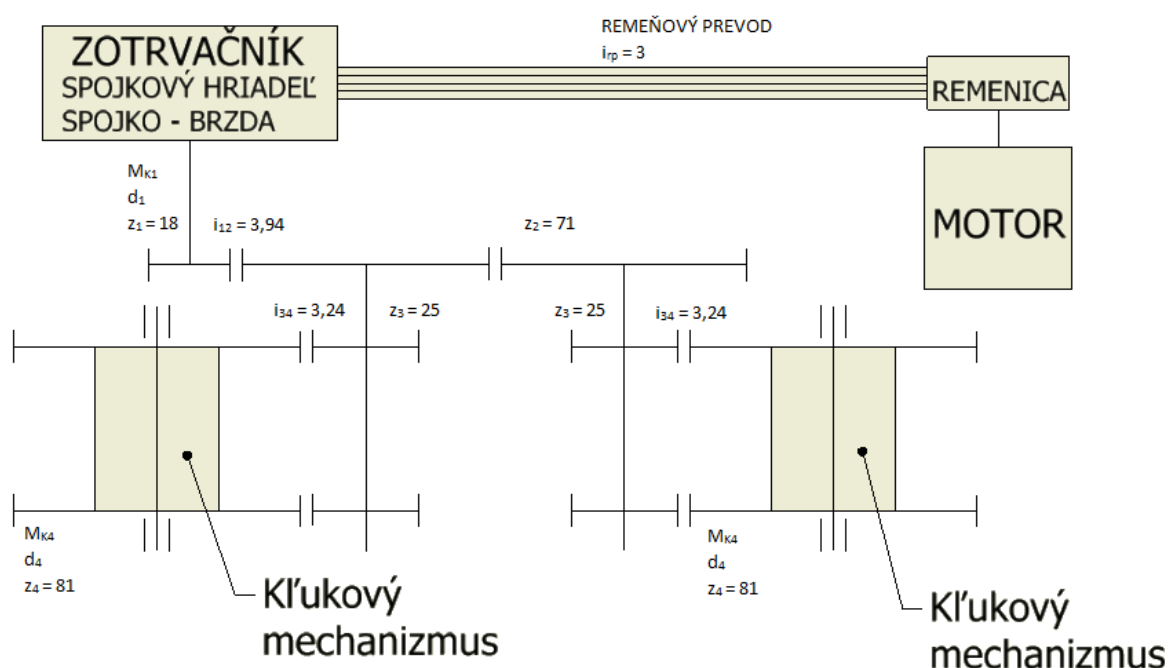
$$M_{K1.2} = \frac{M_{K1.1}}{2} = \frac{27\,860,14}{2} = 13\,930,07 \text{ Nm} \quad (24)$$

V tejto variante volíme dva trojfázové synchronné TF Torque motory od firmy Oswald TF36.180 s menovitým krútiacim momentom $M_N = 17\,250 \text{ Nm}$, menovitým výkonom $P_N = 452 \text{ kW}$ a menovitými otáčkami $n_N = 250 \text{ min}^{-1}$. Na obrázku 6.4 je znázornená zvolená schéma pohonu pre variantu 2.



Obr. 6.4 Schéma priameho pohonu, varianta 2

6.3 Návrh nepriameho pohonu kľukového lisu



Obr. 6.5 Schéma nepriameho pohonu lisu

6.3.1 Rozbor pracovných režimov lisu

Automatický chod:

- Maximálny počet 30 zdvihov/min

Čas cyklu

$$t_{C30} = \frac{60}{z_{max}} = \frac{60}{30} = 2 \text{ s} \quad (25)$$

Otáčky kľukového hriadeľa

$$n_{KH30} = 30 \text{ min}^{-1} = \frac{30}{60} = 0,5 \text{ s}^{-1} \quad (26)$$

- Minimálny počet 15 zdvihov/min

Čas cyklu

$$t_{C15} = \frac{60}{z_{\min}} = \frac{60}{15} = 4 \text{ s} \quad (27)$$

6.3.2 Určenie práce kľukového mechanizmu lisu

Celková práca privádzaná do stroja je využívaná pre užitočnú, tvárniacu prácu, k prekonaniu všetkých stratových prác a pre prácu pomocných mechanizmov stroja. (8)

$$A_{\text{celk}} = A_{\text{tv}} + A_{\text{def}} + A_{\text{tr}} + A_{\text{pm}} + A_{\text{rozb}} \quad (28)$$

Tvárniaca práca je určená súčinom sily, dráhy, na ktorej sila pôsobí a koeficientom technológie, ktorý je $m = 1$ pre univerzálny lis. (8)

$$A_{\text{tv}} = F_j \cdot s \cdot m = 6\,300 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 31\,500 \text{ J} \quad (29)$$

Celková deformácia lisu je určená podmienkou celkovej tuhosti lisu. Koeficient $k_1 = 10$ pre univerzálne lisy. (8)

$$f_{\text{celk}} = \frac{F_j}{k_1 \cdot \sqrt{10 \cdot F_j}} = \frac{6\,300 \text{ (kN)}}{10 \cdot \sqrt{10 \cdot 6\,300 \text{ (kN)}}} = 2,510 \text{ mm} \quad (30)$$

Deformačná práca stroja a nástrojov

$$A_{\text{def}} = \frac{F_j \cdot f_{\text{celk}}}{2} = \frac{6\,300 \cdot 10^3 \cdot 2,510 \cdot 10^{-3}}{2} = 7\,906,5 \text{ J} \quad (31)$$

V projekčnom výpočte nie je možné vopred spočítať ďalšie práce, preto si pomáhame odhadom týchto prác vzhľadom k tvárniacej práci. (8)

Tretia práca

$$A_{\text{tr}} = (0,15 \div 0,25) \cdot A_{\text{tv}}, \text{ zvolené } 20\%$$

$$A_{\text{tr}} = 0,2 \cdot A_{\text{tv}} = 0,2 \cdot 31\,500 = 6\,300 \text{ J} \quad (32)$$

Práca pomocných mechanizmov $A_{\text{pm}} = 0 \text{ J}$ (žiadne pomocné mechanizmy). Rozbehová práca $A_{\text{rozb}} = 0 \text{ J}$, pretože počítam prácu počas tvárnenia, kedy je motor rozbehnutý.

Celková práca privádzaná do stroja

$$A_{\text{celk}} = A_{\text{tv}} + A_{\text{def}} + A_{\text{tr}} = 31\,500 + 7\,906,5 + 6\,300 = 45\,706,5 \text{ J} \quad (33)$$

Motor musí byť schopný dodať do systému celkovú prácu za čas jedného cyklu pri maximálnom automatickom režime. Pre čas cyklu pri minimálnom automatickom režime bude výkon elektromotora automaticky dostatočný. Do výpočtu príkonu lisu je nutné zahrnúť tiež účinnosť remeňového prevodu. Účinnosť remeňového prevodu $\eta_{\text{rp}} = 0,8$. (17) (8)

Príkon elektromotora

$$P = \frac{A_{\text{celk}}}{t_{C30} \cdot \eta_{\text{rp}}} = \frac{45\,706,5}{2 \cdot 0,8} = 28\,566,56 \text{ W} \quad (34)$$

6.3.3 Stanovenie veľkosti zotrvačníka

Veľkosť zotrvačníka sa stanovuje pri najmenšom počte zdvihov z_{\min} . Pretože sa veniec zotrvačníka nabíja pri menšej obvodovej rýchlosti, musí mať zotrvačník väčšiu hmotu, ktorá dodá potrebnú kinetickú energiu. (18)

Najskôr je nutné zvoliť pomerný pokles otáčok δ z rozmedzia 2 až 8% pre tvárniace automaty, kde $t_c = t_{zdv}$. Z neho bude vypočítaná uhlová rýchlosť zotrvačníka po odovzdaní práce $\omega_{2\min}$ a na základe jej znalostí bude určený minimálny potrebný moment zotrvačnosti zotrvačníku I_{vs} . Uhlová rýchlosť zotrvačníku $\omega_{1\min}$ pri $n_{z\min}$ je známa z už navrhnutého systému prevodu lisu. (17)

Zvolené hodnoty: vnútorný priemer venca zotrvačníka $D_{z2} = 700$ mm, šírka venca zotrvačníka $b_{zp} = 200$ mm

Pomerný pokles otáčok pri $n_{z\min}$ $\delta_{\min} = 8\%$

Uhlová rýchlosť zotrvačníka pri $n_{z\min}$

$$n_{vst\min} = i_{cp} \cdot n_{z\min} = 12,78 \cdot 15 = 191,7 \text{ min}^{-1} \quad (35)$$

$$\omega_{1\min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{vst\min}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 191,7}{60} = 20,075 \text{ rad/s} \quad (36)$$

Minimálna uhlová rýchlosť zotrvačníku po odovzdaní práce

$$\omega_{2\min} = \omega_{1\min} - \frac{\omega_{1\min} \cdot \delta_{\min}}{100} = 20,075 - \frac{20,075 \cdot 8}{100} = 18,469 \text{ rad/s} \quad (37)$$

Minimálny potrebný moment zotrvačnosti zotrvačníku

$$I_{s\min} = \frac{2 \cdot A_{celk}}{(\omega_{1\min}^2 - \omega_{2\min}^2)} = \frac{2 \cdot 45\,706,5}{(20,075^2 - 18,469^2)} = 1\,476,75 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (38)$$

Zotrvačník je vyrobený ako odliatok z manganovej ocele na odliatky 42 2709.5, čo umožňuje maximálnu obvodovú rýchlosť $\omega_{z\max} = 40$ rad/s.

Maximálne vstupné otáčky od zotrvačníka k prevodovému systému

$$n_{vst\max} = i_{cp} \cdot n_{z\max} = 12,78 \cdot 30 = 383,4 \text{ min}^{-1} \quad (39)$$

Maximálny vonkajší priemer zotrvačníka

$$D_{z\max} = \frac{60 \cdot \omega_{z\max}}{\pi \cdot n_{vst\max}} = \frac{60 \cdot 40}{\pi \cdot 383,4} = 1,9926 \text{ m} \quad (40)$$

Zvolená hodnota vonkajšieho priemeru venca zotrvačníka $D_{z1} = 1780$ mm

Kontrola obvodovej rýchlosti nabitého zotrvačníka pri maximálnom počte zdvihov

$$\omega_{z\max} = \frac{\pi \cdot D_{z1} \cdot n_{vst\max}}{60} = \frac{\pi \cdot 1,78 \cdot 383,4}{60} = 35,73 \text{ rad/s} < 40 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (41)$$

Hmotnosť venca zotrvačníka

$$m_{zp} = \frac{b_{zp} \cdot \pi \cdot \rho_{ol} \cdot (D_{z1}^2 - D_{z2}^2)}{4} = \frac{0,2 \cdot \pi \cdot 7\,850 \cdot (1,78^2 - 0,7^2)}{4} = 3\,302,67 \text{ kg} \quad (42)$$

Moment zotrvačnosti zotrvačníka

$$I_z = \frac{m_{zp} \cdot (D_{z1}^2 + D_{z2}^2)}{8} = \frac{3\,302,67 \cdot (1,78^2 + 0,7^2)}{8} = 1\,510,31 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (43)$$

Kontrolný výpočet pomerného poklesu otáčok δ_{\max} pre $n_{z\max}$:

$$\omega_{1\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{vstmax}}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 383,4}{60} = 40,15 \text{ rad/s} \quad (44)$$

Maximálna uhlová rýchlosť zotrvačníku po odovzdaní práce

$$\omega_{2\max} = \sqrt{\left(\omega_{1\max}^2 - \frac{2 \cdot A_{\text{celk}}}{I_z}\right)} = \sqrt{\left(40,15^2 - \frac{2 \cdot 45\,706,5}{1\,510,31}\right)} = 39,39 \text{ rad/s} \quad (45)$$

$$\delta_{\max} = \frac{\omega_{1\max} - \omega_{2\max}}{\omega_{1\max}} \cdot 100 = \frac{40,15 - 39,39}{40,15} \cdot 100 = 1,89 \% \quad (46)$$

6.3.4 Časové konštanty

Pri voľbe I_z a δ_{\min} je vhodné vychádzať z vyšších hodnôt. Zotrvačník lisu v sebe akumuluje podstatnú časť energie, ktorá je odoberaná pri pracovnej časti cyklu (vybitie zotrvačníku). Pokiaľ má zotrvačník dostatočne veľký moment zotrvačnosti I_z , znižuje sa pomerný pokles otáčok δ a chod lisu je vyrovnanejší. Na druhú stranu sa ale predlžuje doba nutná na dobitie zotrvačníku z ω_2 na ω_1 . Aby bol návrh zotrvačníka úplný, je nutné kontrolovať dobu dobitia zotrvačníka t_{ds} a porovnať ju s dobou nepracovnej časti cyklu t_{CN} . (17)

Kontrola dobitia zotrvačníka pri minimálnom počte zdvihov:

Doba nepracovnej časti cyklu

$$t_{CN\min} = \frac{(360 - \alpha_j) \cdot 60}{360 \cdot n_{z\min}} = \frac{(360 - 15,478) \cdot 60}{360 \cdot 15} = 3,83 \text{ s} \quad (47)$$

Dodaný minimálny krútiaci moment

$$M_{KD\min} = \frac{I_z \cdot (\omega_{1\min} - \omega_{2\min})}{t_{CN\min}} = \frac{1510,31 \cdot (20,075 - 18,469)}{3,83} = 633,3 \text{ Nm} \quad (48)$$

Pokiaľ by dodaný krútiaci moment $M_{KD\min}$ nestačil úplne dobíjať zotrvačník, tak by bol elektromotor preťažovaný a lis by sa po nejakej dobe práce zastavil. Aby moment $M_{KD\min}$ nebol hraničnou hodnotou a aby bolo vždy dosiahnuté úplného roztočenia zotrvačníka na $\omega_{1\min}$, bude výpočtový $M_{KD\min}$ navýšený o momentovú rezervu 10% na 696,63 Nm. (17)

Výpočet doby urýchlenia zotrvačníka $t_{U\min}$ z ω_0 na $\omega_{1\min}$.

$$t_{U\min} = \frac{I_z \cdot \omega_{1\min}}{M_{KD\min}} = \frac{1\,510,31 \cdot 20,075}{696,63} = 43,52 \text{ s} \quad (49)$$

Kontrola dobitia zotrvačníka pri maximálnom počte zdvihov:

Doba nepracovnej časti zdvihu

$$t_{CN\max} = \frac{(360 - \alpha_j) \cdot 60}{360 \cdot n_{z\max}} = \frac{(360 - 15,478) \cdot 60}{360 \cdot 30} = 1,91 \text{ s} \quad (50)$$

Dodaný maximálny krútiaci moment

$$M_{KD\max} = \frac{I_z \cdot (\omega_{1\max} - \omega_{2\max})}{t_{CN\max}} = \frac{1510,31 \cdot (40,15 - 39,39)}{1,91} = 600,96 \text{ Nm} \quad (51)$$

Pretože dodaný krútiaci moment $M_{KD\min} > M_{KD\max}$, bude ďalej uvažované $M_{KD\min}$.

Výpočet doby urýchlenia zotrvačníka $t_{U\max}$ z ω_0 na $\omega_{1\max}$.

$$t_{Umax} = \frac{I_z \cdot \omega_{lmax}}{M_{KDmin}} = \frac{1\,510,31 \cdot 40,15}{696,63} = 87,05 \text{ s} \quad (52)$$

6.3.5 Voľba elektromotora

Podľa vypočítaného príkonu elektromotora P pre najkratší čas pracovného cyklu t_{C30} bol zvolený štvorpólový elektromotor Siemens Simotics 1LE1502-2AB53 s výkonom 30 kW, otáčkami 1472 1/min a menovitým momentom 195 Nm.

$$M_{KM} = \frac{P_M}{2 \cdot \pi \cdot n_M} \cdot i_{rp} \cdot \eta_{rp} = \frac{30\,000}{2 \cdot \pi \cdot 24,53 \text{ (Hz)}} \cdot 3 \cdot 0,8 = 467,15 \text{ Nm} \quad (53)$$

Kontrola parametrov motora pri minimálnom počte trvalých zdvihov

$$t_{dsmin} = \frac{I_z \cdot (\omega_{lmin} - \omega_{2min})}{M_{KM} \cdot i_{rp} \cdot \eta_{rp}} = \frac{1510,31 \cdot (20,075 - 18,469)}{467,15 \cdot 3 \cdot 0,8} = 2,16 \text{ s} \quad (54)$$

$t_{dsmin} < t_{CNmin}$ – navrhnutý motor vyhovuje

Kontrola parametrov motora pri maximálnom počte trvalých zdvihov

$$t_{dsmax} = \frac{I_z \cdot (\omega_{lmax} - \omega_{2max})}{M_{KM} \cdot i_{rp} \cdot \eta_{rp}} = \frac{1510,31 \cdot (40,15 - 39,39)}{467,15 \cdot 3 \cdot 0,8} = 1,02 \text{ s} \quad (55)$$

$t_{dsmax} < t_{CNmax}$ – navrhnutý motor vyhovuje

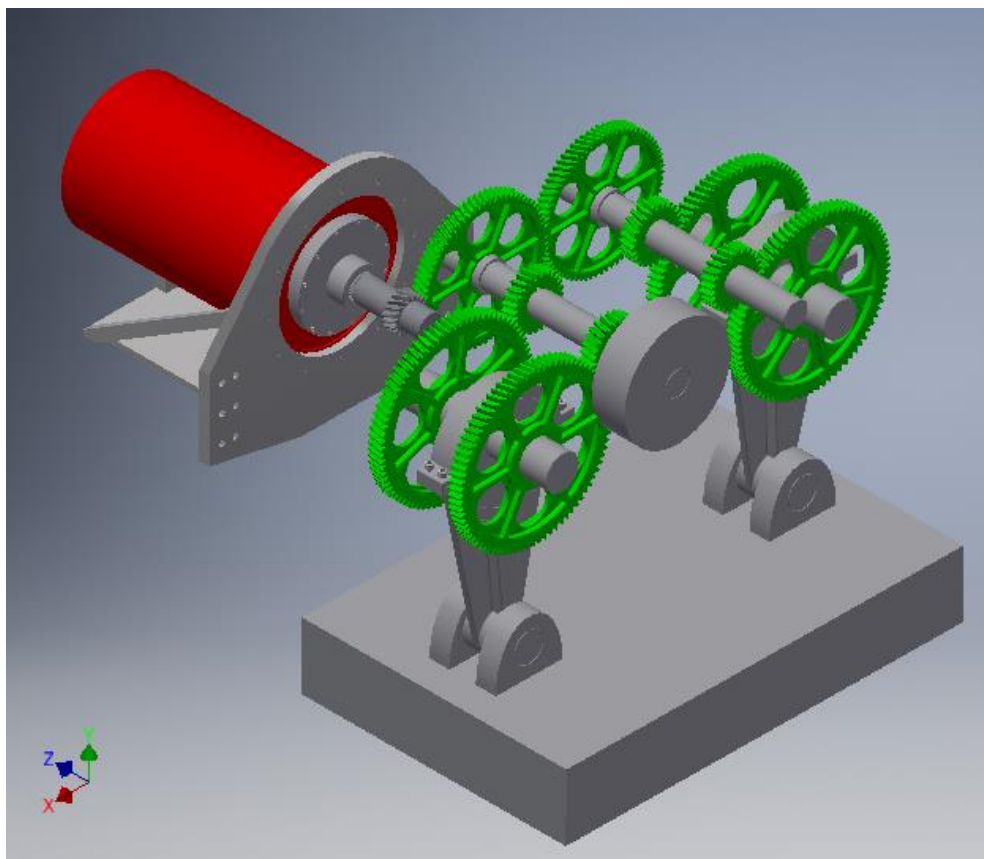
6.4 Zhodnotenie výsledkov výpočtu

	Priamy pohon		Nepriamy pohon
	Varianta 1	Varianta 2	
Vypočítaný potrebný krútiaci moment na vstupe pohonu [Nm] (priamy pohon) / minimálny príkon motora [kW] (nepriamy pohon)	27 860,14	13 930,07	28,5667
Menovitý krútiaci moment motora [Nm]	34 600	17 250	195
Výkon motora [kW]	725	452	30
Menovité otáčky motora [1/min]	200	250	1472

Tabuľka 5 Vypočítané hodnoty a parametre zvolených motorov

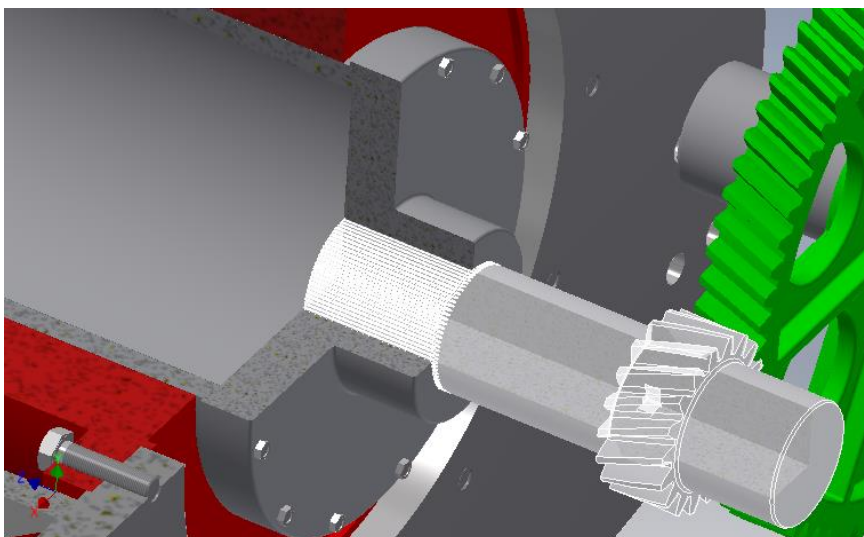
Podľa zadaných parametrov boli vypočítané sily a momenty na kľukovom ústrojenstve najprv bez trenia a následne aj s trením, výsledkom čoho bol skutočný krútiaci moment $M_{Kskut} = 356\,025,6 \text{ Nm}$. Pri výpočte priameho pohonu bol podľa zadanej schémy s hodnotami počtu zubov ozubených kolies vypočítaný celkový prevodový pomer, vďaka ktorému bol zistený potrebný krútiaci moment osobitne pre variantu 1 s jedným motorom a variantu 2 s dvomi motormi. Pre variantu 1 som sa rozhodol vypracovať 3D model návrhu pohonu (obr. 6.6), kde sú použité reálne rozmery zvoleného motora, aby sme si mohli lepšie predstaviť, akej veľkosti môžu byť momentové motory s takýmito parametrami. Pre motor som navrhol upínaciu konzolu, ktorá je priložená ako výkres zvarenca v prílohe práce. Motor je na konzolu

upevnený prírubou pomocou skrutiek a príruba je pripevnená na teleso lisu rovnako pomocou skrutiek.



Obr. 6.6 3D model návrhu varianty 1

Zvolený TF torque motor od firmy Oswald pre návrhovú variantu 1, je motor s dutým hriadeľom. Priemer motora je $\varnothing 968$ mm a dĺžka 1580 mm. Na jeho spojenie s hriadeľom pastorku bola preto použitá príruba, ktorá sa vystredila vďaka osadeniu a uloženiu s veľmi malou vôľou s dutým hriadeľom motora. Spojenie príruby s dutým hriadeľom je realizované pomocou skrutiek a spojenie príruby s hriadeľom pohonu je realizované pomocou evolventného drážkovania v prírube a na hriadeli, ktoré prenáša spoločne so skrutkovým spojom krútiaci moment.



Obr. 6.7 Spojenie motora s hriadeľom pastorka v čiastočnom reze

Varianta 2 s dvomi motormi je zaujímavá z dôvodu, že váha motorov môže byť rozložená do strán, a teda motory sa môžu vyvažovať a lis bude mať vyššiu stabilitu naklonenia kombinovanú s menším pružením. Rovnako nie je potrebné navrhovať mohutné podpery motorov, ktoré tým pádom nebudú zaberať priestor.

Výpočet príkonu elektromotora vychádzal z určenia práce klukového mechanizmu lisu a z rozboru pracovných režimov lisu. Na základe potrebného príkonu bol zvolený elektromotor. Následne bola stanovená približná veľkosť hodnoty momentu zotrvačnosti zotrvačníka, nakoľko presnú hodnotu by sme zistili až pri samotnom namodelovaní pohonu v prostredí 3D CADu. Z tejto veľkosti boli na základe výpočtov skontrolované parametre zvoleného motora, ktorý vyhovuje.

Porovnaním hodnôt v tabuľke 3 je očividný rozdiel vo veľkosti navrhnutých motorov pre jednotlivé typy pohonov. Nepriamy pohon obsahuje okrem motora navyše aj zotrvačník a ostatné prenosové prvky, takže rozdiel vo veľkosti a hmotnosti nebude až taký priepastný. Väčší rozdiel nastáva v obstarávacej cene priameho pohonu, ktorá bude niekoľkonásobne prevyšovať cenu nepriameho pohonu.

7 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo predstavenie lisov s priamym pohonom súčasnej produkcie. Návrh lisu vyžaduje špeciálne znalosti procesu výroby, pre ktorý sa daný lis navrhuje. V závislosti od použitia je lis navrhnutý tak, aby vykonával špecifický proces alebo aby mal univerzálne použitie.

Prvá časť práce sa venuje predstaveniu mechanických lisov, ich hlavným určujúcim parametrom a rozdeleniu. Následne približuje pohony mechanických lisov. Podľa charakteru riešení môžeme pohony rozdeliť na priame pohony a nepriame pohony.

V porovnaní priameho a nepriameho pohonu sú nevýhodou priameho pohonu väčšie rozmery, vyššia hmotnosť a vyššie obstarávacie náklady. Z pohľadu rozmerov a hmotnosti, je ale priamy pohon porovnateľný s nepriamym pohonom, nakoľko nepriamy pohon okrem motora obsahuje zotrvačník a ďalšie prenosové prvky. Cena priamych pohonov je vyššia z dôvodu inej konštrukcie motora, jedná sa o synchronne mnoho pólové motory oproti bežným asynchrónnym. Rovnako je nutná aj úprava zdroju elektrickej energie, aby bol schopný pokryť výkonové špičky, nakoľko motor musí byť schopný dodávať energiu o väčšom, než maximálnom, špičkovom výkone.

Hlavnou výhodou servo motora s elektrickou reguláciou je to, že majú možnosť presného riadenia rýchlosti, polohy alebo momentu na výstupnom člene, a teda je možné ovládať pohyb šmýkadla a zostať aj po určitú dobu v dolnej úvrati. Vďaka týmto vlastnostiam ponúka priamy pohon veľkú flexibilitu vo výrobnom procese. Napríklad môžeme využiť lis pri zastavení šmýkadla v dolnej úvrati ako upínacie zariadenie na udržanie obrobku v stabilnej polohe a aplikovať ďalšie operácie. Rovnako môžeme využiť presné riadenie na nastavenie charakteristiky procesu tvárnenia, čo nám pri správnom nastavení zníži počet nepodarkov výroby. Pri použití aplikácie na nastavenie presného riadenia charakteristik procesa tvárnenia je možné zvýšiť rýchlosť celého procesu tvárnenia, nakoľko sa napríklad znížia časy prestojov nastavovania lisu pri zmene typu obrobkov.

V ďalšej časti sa práca venuje prehľadu o kľukovým mechanickým lisom, kinematike kľukového mechanizmu a rozdeleniu kľukových mechanických lisov spolu s príkladmi od výrobcov. Následne analyzuje súčasnú ponuku trhu mechanických lisov poháňaných priamym pohonom. Z nej vyplýva, že výrobcovia lisov sa snažia znižovať energetické požiadavky a zároveň zvyšovať flexibilitu a univerzálnosť lisov. K umožňovaniu takéhoto vývoja prispieva neustály vývoj v oblasti momentových motorov, ktoré sú vďaka ich schopnosti presného ovládania rýchlosti a polohy žiadané v takmer všetkých oblastiach výrobných strojov, či už na hlavné alebo vedľajšie pohyby procesu.

V poslednej časti sa práca venuje výpočtu priameho a nepriameho pohonu pre mechanický kľukový lis podľa zadaných parametrov, z ktorých bol vypočítaný maximálny krútiaci moment na vstupe mechanizmu $M_{Kskut} = 356\,025,6 \text{ Nm}$. Pri priamom pohone boli zvolené dve varianty prevedenia návrhu. V prvej variante bol zvolený jeden trojfázový synchronný TF Torque motor od firmy Oswald s menovitým krútiacim momentom $M_N = 34\,600 \text{ Nm}$ a menovitým výkonom $P_N = 725 \text{ kW}$, ktorý bol vybraný na základe potrebného krútiaceho momentu $M_{K1,1} = 27\,860,14 \text{ Nm}$. Pre prvú variantu návrhu priameho pohonu bol pre lepšiu predstavu zhotovený 3D model na základe schémy návrhu a z tohto modelu bol vyhotovený výkres zvarenca konzoly uchytenia motora na telo lisu, ktoré sú priložené k práci. V druhej variante boli zvolené dva trojfázové synchronne TF Torque motory od firmy Oswald

s menovitým krútiacim momentom $M_N = 17\,250\text{ Nm}$ a menovitým výkonom $P_N = 452\text{ kW}$, ktoré boli vybrané na základe potrebného krútiaceho momentu $M_{K1.2} = 13\,930,07\text{ Nm}$. Pre nepriamy pohon bol zvolený na základe vypočítaného výkonu elektromotora $P = 28,5667\text{ kW}$ štvorpólový elektromotor Siemens Simotics s výkonom 30 kW a menovitým momentom 195 Nm , ktorý následne ešte bolo potrebné overiť výpočtom, či je schopný dobitia zotrvačníka pri minimálnom aj maximálnom počte zdvihov lisu. Pri výpočte nepriameho pohonu bola použitá približná hodnota momentu zotrvačnosti pohonu, nakoľko presnú hodnotu by sme zistili až pri samotnom namodelovaní pohonu v prostredí 3D CADu.

Z výsledkov je vidieť niekoľkonásobné rozdiely veľkosti motorov pre jednotlivé návrhy, a teda aj cena pohonov bude diametrálne odlišná. Pri rozhodovaní nad výberom medzi lisom s priamym pohonom a lisom s nepriamym pohonom je nutné prihliadať na použitie lisu. Pokiaľ ide o špecifickú výrobnú linku alebo o prácu s veľkými objemami, je lis s nepriamym pohonom rýchlejší a cenovo výhodnejší ako lis s priamym pohonom. Naopak, pokiaľ je vyžadovaná flexibilita a univerzálnosť výrobnéj linky, tak je lis s priamym pohonom jednoznačnou voľbou. Výhodou priamych lisov je aj menšia hlučnosť pri výrobe, čo môže byť zvýhodňujúcim faktorom.

Mechanické lisy s priamym pohonom majú už teraz širokú využiteľnosť vo výrobe. Čoraz viac sa uplatňujú v priemysle, ktorý neustále obmieňa vyrábané diely, či zavádza čoraz väčšiu automatizáciu do výroby, ako je napríklad automobilový priemysel. Ich častejšie využívanie namiesto lisov s nepriamym pohonom a pokračujúci vývoj povedie k značnej redukcii spotreby energie a zmenšovaniu zástavby v halách. Pokračujúci vývoj momentových motorov povedie taktiež k zjednodušeniu ich výroby a tým pádom k znižovaniu ich ceny. Spoločnosti s automatizovanou výrobou budú postupne nahrádzať vo svojich produkciách lisy s nepriamym pohonom za lisy s priamym pohonom z dôvodu zefektívnenia výroby.

8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- 1) ŽENÍŠEK, Josef a Milan JENKUT. *Výrobní stroje a zařízení*. Druhé, opravené vydání. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00272-9.
- 2) KOVÁČ, Andrej a Milan JENKUT. *Tvárníace stroje*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978, 814 s. : il.
- 3) ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium* [online]. První. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2019-02-12]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
- 4) JIŘÍ, Staněk. *Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje*. 1. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001. ISBN 80-7082-738-6.
- 5) ŠANOVEC, Jan. Jak dále s použitím servolisů. *Mmspektrum* [online]. 2011, **2011** [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/jak-dale-s-pouzitim-servolisu.html>
- 6) BUDIMIR, Miles. Direct-drive motor designs: What variations are there?. *Motion control tips* [online]. 2017 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/direct-drive-motor-designs-variations/>
- 7) *THE OPTIMUM SERVO DRIVE WITH DESCH PLANETARY GEARBOXES* [online]. DESCH Antriebstechnik GmbH & Co. KG, 2015 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: https://www.desch.com/files/default/pdf/products/en/DESCH_Servox_FS_19_GB.pdf
- 8) KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje I*. Vyd. 3. Brno: Ediční středisko VUT, 1989, 206 s. : il. ; 29 cm. ISBN 80-214-1037-X.
- 9) HESTON, Tim. The science behind the servo press. *The fabricator* [online]. 2008, , 1 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/the-science-behind-the-servo-press>
- 10) *AIDA Presses: Straightside Servo Presses / DSF-M2* [online]. Aida Engineering, Ltd., b.r. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.aida-global.com/metal-stamping-presses/straightside-servo-press-dsf-m.cfm#1_1
- 11) *BIG THINGS ARE COMING!* [online]. Aida Engineering, Ltd., 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.aida-global.com/fabtech-2015/>
- 12) *AIDA Presses: Servo Press Technology, AIDA DSF Series, Direct Drive Servo Presses* [online]. Aida Engineering, Ltd., b.r. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.aida-global.com/direct-drive-servo-former/>
- 13) *Next-Generation Progressive Servo Press* [online]. USA: America HQ Komatsu America Industries, LLC, b.r. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z:

<https://www.komatsupress.com/wp-content/uploads/2018/07/H2FM-Next-Generation-Progressive-Servo-Press.pdf>

SCHULER SERVOLINE FAST, COMPACT AND FLEXIBLE [online]. Germany:

- 14) Schuler Pressen GmbH, b.r. [cit. 2019-03-26]. ISBN 219EN-102018-WSP-100.
Dostupné z:
https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_automotive/download_automotive/automotive_broschuere_servopressenlinien_e.pdf

TWINSERVO TECHNOLOGY: ADVANCED SERVO PRESSES [online].

- 15) Germany: Schuler Pressen GmbH, b.r. [cit. 2019-03-26]. ISBN 201EN-102018-WSP-50.
Dostupné z:
https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_automotive/download_automotive/automotive_broschuere_twin_servo_technologie_e.pdf

PRESS SYSTEMS FOR BLANKING AND STAMPING [online]. SIMPAC Europe

- 16) GmbH, 2018 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://simpac-europe.com/sites/default/files/SIMPAC_Press_Systems.pdf

HUMPOLÍČEK, František. *Lis LKDS 630* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-04-06].

- 17) Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173748.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

KOLBÁBEK, Lukáš. *Lis LKDS 800* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-04-05].

- 18) Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=51985.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

ČUPR, Pavel. *Klikový lis 250 s přímým pohonem* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-

- 19) 03-05]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=126793.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

9 ZOZNAM PRÍLOH

1. Výkres zostavy KONZOLA - 1-19-VUT-01-01
2. Kusovník - 4-19-VUT-02-01

